



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

## **ANALISA ARC FLASH PADA SWITCHGEAR TEGANGAN MENENGAH DI KALTIM METHANOL INDUSTRI**

Reza Arfian Adi Pratama  
NRP 2212 106 006

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT  
Ir. Arif Musthofa, MT

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE141599**

***ARC FLASH ANALYSIS ON MEDIUM VOLTAGE  
SWITCHGEAR IN KALTIM METHANOL INDUSTRY***

Reza Arfian Adi Pratama  
NRP 2212 106 006

Advisor  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Arif Musthofa, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

**ANALISA ARC FLASH PADA SWITCHGEAR TEGANGAN  
MENENGAH DI KALTIM METHANOL INDUSTRI**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

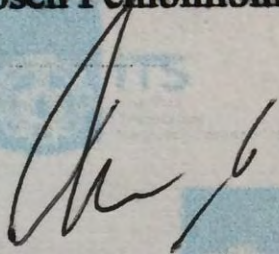
**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga**

**Jurusan Teknik Elektro**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

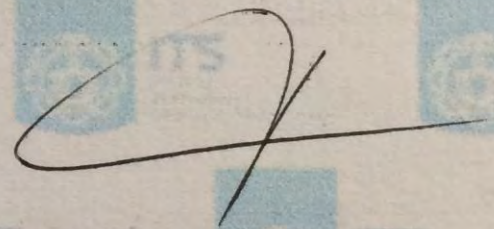
**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**



**Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.**  
**NIP. 196603181990101001**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Arif Musthofa, MT.**  
**NIP. 196608111992031004**



# **ANALISA ARC FLASH PADA SWITCHGEAR TEGANGAN MENENGAH DI KALTIM METHANOL INDUSTRI**

**Nama : Reza Arfian Adi Pratama**  
**Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.**  
**Pembimbing II : Ir. Arif Musthofa, MT.**

## **ABSTRAK**

Berdasarkan standar IEEE 1584-2002 yang mengatur tentang analisa bahaya busur api pada sistem tegangan rendah dan menengah, pengguna dapat dengan mudah menentukan batas keamanan untuk para pekerja. Namun perlu diperhatikan bahwa standar yang ada diperoleh dari hasil pengukuran insiden energi busur api pada kondisi tertentu dan dikombinasikan dengan teori. Menurut rekomendasi standar IEEE perhitungan arus hubung singkat selalu memperhatikan kontribusi arus gangguan dari generator, motor induksi dan sinkron. Besar kecilnya energi arc flash dapat ditentukan dari beberapa sudut pandang. Diantaranya ialah nilai energi arc flash akan besar apabila dihitung dengan menggunakan arus bolted three phase fault, sedangkan dari sudut arc clearing time yang didapat dari waktu dimana arus gangguan saat itu terjadi akan menghasilkan nilai energi busur api yang lebih rendah. Hal ini memunculkan metode perhitungan modifikasi yang didasarkan pada perhitungan kontribusi arus hubung singkat dan waktu pemadaman busur api yang dihasilakn lebih rendah dari standar IEEE 1584-2002. Hal tersebut dapat dijadikan sebagai acuan untuk perbaikan sistem pengaman.

*Kata Kunci— Arc clearing time, Arus bolted three phase fault, Modifikasi perhitungan berdasarkan arus gangguan (fungsi waktu).*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **ARC FLASH ANALYSIS ON THE MEDIUM VOLTAGE SWITCHGEAR IN KALTIM METHANOL INDUSTRY**

**Name** : Reza Arfian Adi Pratama  
**Advisor I** : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
**Advisor II** : Ir. Arif Musthofa, MT.

### ***ABSTRACT***

*Based on the IEEE 1584-2002 standard regulating the arc hazard analysis at low and medium voltage systems , the user can easily determine the safety limit for workers . However, it should be noted that the existing standards obtained from measurements of the arc energy incident on certain conditions and combined with theory . According to the recommendations of IEEE standard short-circuit current calculation always pay attention to the contribution of the noise current generator , induction and synchronous motors . The size of the arc flash energy can be determined from several viewpoints . Among them is the value of arc flash energy will be greater if calculated using a three -phase bolted fault current , while from the corner arc clearing time obtained from the time when the fault current when it happens will generate energy value lower arc . This raises the modification calculation method based on the calculation of the contribution of short-circuit current and the arc extinction time dihasilakn lower than the IEEE 1584-2002 standard . It can be used as a reference for the improvement of the safety system .*

**Keywords** : Arc clearing time, Arus bolted three phase fault, Modification of the fault current calculations based on ( a function of time ) .

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah Robbil 'Alamin*, terucap syukur kehadiran Allah atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ANALISA ARC FLASH PADA SWITCHGEAR TEGANGAN MENENGAH DI KALTIM METHANOL INDUSTRI”. Adapun tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas Akhir ini, yaitu :

1. Segenap keluarga besar terutama ayah dan ibu tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Bapak Ir. Arif Musthofa, MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
3. Monica Lutfiyati Khasanah sebagai calon wanita pendamping hidup yang telah banyak berjasa dalam memberikan semangat, dukungan, serta do'a kepada penulis.
4. Seluruh rekan asisten LIPIST atas dukungan, semangat, bantuan, kebersamaan, dan kerjasama selama ini.
5. Seluruh rekan dan teman-teman LJ GENAP 2012 atas kebersamaan dan kerjasamanya selama 4 tahun ini.
6. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS, doskar, serta rekan-rekan HIMATEKTRO atas dukungan, masukan, dan kerjasamanya selama masa kuliah dan proses pengerjaan tugas akhir.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Januari 2014

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii

## BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	2
1.5. Metodologi .....	2
1.6. Relevansi .....	3
1.7. SistematikaPenulisan .....	3

## BAB 2BUSUR API LISTRIK

2.1. Fenomena Busur Api Listrik( <i>Arc Flash</i> ) .....	5
2.2. <i>Setting</i> Arus Lebih Waktu Invers .....	6
2.3. Perhitungan Besar Energi Busur Api Berdasarkan Standart IEEE 1584-2002 .....	7
2.3.1. Metode Perhitungan Arus Busur Api Berdasarkan IEEE 1584-2002 ( <i>Arcing Current</i> ) .....	7
2.3.2. Metode Perhitungan Besar Insiden Energi Busur Api Berdasarkan IEEE 1584-2002 .....	8
2.4. Perhitungan dengan Metode Modifikasi dari Standart IEEE 1584-2002 .....	10
2.4.1. Tegangan 6,6 kV untuk Switchgear Ungrounded System .....	10
2.4.2. Perhitungan dengan Pengelompokkan Waktu( <i>Time Domain</i> ) .....	11
2.5. Pengelompokkan Kategori Energi Busur Api dengan Perlengkapan Keselamatan Diri sesuai Standart NFPA 70E-2009 .....	12
2.6. Flash Protection Boundary .....	17

2.6.1. Flash Protection Boundary sesuai Standarty IEEE 1584-2002 .....	19
--	----

### **BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI**

3.1. Sistem Kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri .....	19
3.2. Data Beban Kelistrikan pada Tegangan 6,6 kV di PT. Kaltim Methanol Industri.....	20
3.3. Data Beban Kelistrikan pada Tegangan 0,4 kV di PT. Kaltim Methanol Industri.....	21
3.3.1. Data Beban Emergency Equipment Load .....	26
3.3.2. Data Beban Load Utility 400 V (A) .....	28
3.3.3. Data Beban Load Utility 400 V (S).....	28
3.3.4. Data Beban Load MeOH 400 V (A) .....	28
3.3.5. Data Beban Load MeOH 400 V (S).....	28

### **BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA**

4.1. PemodelanSistemKelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri .....	29
4.2. Analisis Sistem Pengaman.. .....	29
4.2.1. Sistem Eksisting Pengaman PT. Kaltim Methanol Industri.....	30
4.2.1.1.Sistem Eksisting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 1 .....	31
4.2.1.2.Sistem Eksisting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 2 .....	34
4.2.1.3.Sistem Eksisting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 3 .....	37
4.2.1.4.Sistem Eksisting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 4 .....	40
4.2.1.5.Sistem Eksisting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 5 .....	43
4.2.2. Sistem Resetting Pengaman PT. Kaltim Methanol Industri	46
4.2.2.1.Sistem Resetting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 1 .....	46
4.2.2.2.Sistem Resetting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 2 .....	54
4.2.2.3.Sistem Resetting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 2A.....	57

4.2.2.4.Sistem Resetting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 3 .....	60
4.2.2.5.Sistem Resetting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 4 .....	63
4.2.2.6.Sistem Resetting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 5 .....	66
4.3.Hasil Simulasi Incident Energi Arc Flash .....	69
4.3.1. Hasil Simulasi Incident Energi Arc Flash pada Sistem Eksisting.....	69
4.3.2 Hasil Simulasi Incident Energi Arc Flash pada Sistem Resetting.....	69
4.4. Perhitungan Incident Energi Arc Flash sesuai Standart IEEE 1584-2002.....	70
4.4.1. Perhitungan Incident Energi Arc Flash sesuai Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Eksisting .....	70
4.4.2. Perhitungan Incident Energi Arc Flash sesuai Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Resetting .....	73
4.5. Perhitungan Incident Energi Arc Flash dengan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002 .....	75
4.5.1. Perhitungan Incident Energi Arc Flash dengan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Eksisting.....	76
4.5.2. Perhitungan Incident Energi Arc Flash dengan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Resetting.....	79
4.6. Hasil Perbandingan Perhitungan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002 dengan Standart IEEE 1584-2002 .....	82
4.6.1. Hasil Perbandingan Perhitungan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002 dengan Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Eksisting .....	82
4.6.2. Hasil Perbandingan Perhitungan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002 dengan Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Resetting .....	83
4.7. Perhitungan Flash Protection Boundary .....	84

## **BAB 5PENUTUP**

5.1. Kesimpulan.....	87
5.2. Saran .....	88

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>89</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Koefisien invers <i>time dial</i> .....	7
Tabel 2.2 Data jarak pekerja.....	9
Tabel 2.3 Data eksponen jarak .....	10
Tabel 2.4 Kategori perlengkapan pelindung diri ( <i>Personal Protective Equipment/PPE</i> ).....	13
Tabel 2.5 Efek arus listrik pada tubuh manusia.....	15
Tabel 3.1. Data pembangkit utama di PT. Kaltim Methanol Industri	22
Tabel 3.2. Data emergency power generator di PT. Kaltim Methanol Industri .....	22
Tabel 3.3. Data busbar di PT. Kaltim Methanol Industri .....	23
Tabel 3.4. Data Transformator PT. Kaltim Methanol Industri .....	23
Tabel 3.5. Data beban busbar 6,6 kV PT. Kaltim Methanol Industri	25
Tabel 3.6. Data emergency equipment load PT. Kaltim Methanol Industri. ....	27
Tabel 4.1. Sistem eksisting rele 8.....	32
Tabel 4.2. Sistem eksisting rele 1 .....	32
Tabel 4.3. Sistem eksisting rele 9 .....	35
Tabel 4.4. Sistem eksisting rele1 .....	35
Tabel 4.5. Sistem eksisting rele 11 .....	38
Tabel 4.6. Sistem eksisting rele 1 .....	38
Tabel 4.7. Sistem eksisting rele 3 .....	41
Tabel 4.8. Sistem eksisting rele 1 .....	41
Tabel 4.9. Sistem eksisting rele 2 .....	44
Tabel 4.10. Sistem eksisting rele 1 .....	44
Tabel 4.11. Hasil simulasi insiden energi sistem eksisting pada software ETAP.....	69
Tabel 4.12. Hasil simulasi insiden energi sistem resetting pada software ETAP.....	70
Tabel 4.13. Hasil insiden energi dari simulasi sistem eksisting dengan perhitungan.....	73
Tabel 4.14. Hasil insiden energi dari simulasi sistem resetting dengan perhitungan.....	75
Tabel 4.15. Hasil insiden energi standart IEEE dengan metode modifikasi standart IEEE pada sistem eksisting.....	82

Tabel 4.16. Hasil insiden energi standart IEEE dengan metode  
modifikasi standart IEEE pada sistem resetting ..... 83

Tabel 4.17. Hasil perhitungan dan simulasi Flash Boundary Protection  
..... 85

Tabel 5.1. Hasil insiden energi standart IEEE dengan metode  
modifikasi standart IEEE pada sistem eksisting ..... 87

Tabel 5.2. Hasil insiden energi standart IEEE dengan metode  
modifikasi standart IEEE pada sistem resetting ..... 88



## DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Single line diagram pada tipikal sistem kelistrikan di PT. Kaltim Methanol Industri .....	11
Gambar 2.2 Pakaian pelindung yang harus dikenakan ketika bekerja pada peralatan bertegangan.....	13
Gambar 2.3 Klasifikasi alat perlindungan diri berdasarkan kategori	14
Gambar 2.4 Dampak kerusakan akibat busur api .....	16
Gambar 2.5 Label peringatan insiden busur api .....	17
Gambar 2.6 Ilustrasi batas aman dari konduktor bertegangan.....	18
Gambar 2.7 Klasifikasi batas jarak pekerja perlindungan dari sumber arcing dengan pekerja.....	19
Gambar 3.1 Single line diagram di PT. Kaltim Methanol Industri.....	24
Gambar 4.1 Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 1 .....	31
Gambar 4.2 Sistem eksisting rele pengaman tipikal 1 .....	33
Gambar 4.3 Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 2 .....	34
Gambar 4.4 Sistem eksisting rele pengaman tipikal 2.....	36
Gambar 4.5 Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 3 .....	37
Gambar 4.6 Sistem eksisting rele pengaman tipikal 3.....	39
Gambar 4.7 Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 4 .....	40
Gambar 4.8 Sistem eksisting rele pengaman tipikal 4.....	42
Gambar 4.9 Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 5 .....	43
Gambar 4.10 Sistem eksisting rele pengaman tipikal 5.....	45
Gambar 4.11 Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 1 .....	47
Gambar 4.12 Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 1 .....	51
Gambar 4.13 Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 1 pada Generator 070-X01 .....	53
Gambar 4.14 Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 2 .....	54
Gambar 4.15 Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 2 .....	56
Gambar 4.16 Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 2A ....	57
Gambar 4.17 Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 2A.....	59
Gambar 4.18 Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 3 .....	60
Gambar 4.19 Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 3 .....	62
Gambar 4.20 Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 4 .....	63
Gambar 4.21 Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 4 .....	65
Gambar 4.22 Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 5 .....	66

Gambar 4.23 Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 5 ..... 68

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Banyak perusahaan yang bergerak pada bidang pembuatan bahan kimia. Salah satunya PT. Kaltim Metanol Industri yang merupakan perusahaan yang bergerak dibidang industri metanol. Gas metana yang diproduksi tersebut merupakan salah satu unsur bahan penyusun metanol. Seperti yang telah diketahui bahwa selain menimbulkan bau yang tidak sedap, gas metana juga merupakan salah satu unsur gas yang mudah terbakar. Berdasarkan fakta tersebut sistem keamanan dan keselamatan pekerja di sekitar pabrik haruslah lebih diperhatikan daripada unit pabrik lainnya. Hal ini dikarenakan resiko apabila terjadi gangguan teknis maupun non teknis yang dapat memicu percikan api maka akan berakibat fatal. Hingga kemungkinan paling buruk ialah terbakarnya pabrik dan mengancam keselamatan jiwa para pekerja disekitarnya. Salah satu gangguan yang dapat menyebabkan ancaman terhadap keselamatan jiwa para pekerja ialah akibat busur api. Busur api merupakan fenomena percikan api yang timbul akibat adanya arus gangguan hubung singkat. Hal yang dapat memicu gangguan hubung singkat dapat disebabkan berbagai faktor, salah satunya adalah akibat kegagalan isolasi pada konduktor atau rel busbar pada switchgear sehingga memicu terjadinya perpindahan muatan diakibatkan perbedaan potensial. Seiring dengan bertambahnya jumlah unit produksi maka hal tersebut juga memperbesar gangguan elektris yang mungkin terjadi akibat gangguan arus hubung singkat. Besar energi busur api yang dihasilkan tergantung dari waktu kerja sistem pengamanan akibat gangguan arus hubung singkat<sup>[2]</sup>. Semakin cepat rele pengamanan bekerja semakin kecil pula busur api yang dihasilkan dan berlaku sebaliknya. Oleh karena itu, studi untuk mengetahui besar busur api yang dihasilkan pada masing-masing switch gear perlu dilakukan untuk memberikan peringatan kepada para pekerja maupun orang disekitarnya akan dampak yang ditimbulkan serta perlengkapan keselamatan yang harus dikenakan sebagai langkah pencegahan agar terhindar dari jatuhnya korban jiwa.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah apakah metode modifikasi perhitungan busur api dapat diimplementasikan di PT. Kaltim Metanol Industri guna mereduksi busur api yang dihasilkan.

## **1.3. Batasan Masalah**

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, permasalahan dibatasi dengan asumsi sebagai berikut :

1. Perhitungan besar energi busur api hanya dilakukan pada switchgear level tegangan menengah 6,6 kV.
2. Membandingkan besar energi busur api pada simulasi menggunakan *software ETAP* dengan metode modifikasi.

## **1.4. Tujuan**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Membandingkan dan mereduksi energi busur api agar sesuai standar IEEE 1584-2002 dengan metode reduksi berdasarkan besar arus gangguan(fungsi waktu).
2. Memberikan tanda berupa tabel peringatan kepada para pekerja maupun orang disekitarnya akibat dampak kerusakan yang ditimbulkan akibat busur api dan perlengkapan pakaian keselamatan yang harus digunakan.

## **1.5. Metodologi**

Pada penyusunan tugas akhir ini metodologi yang digunakan oleh penulis adalah

1. Studi literatur

Mempelajari literatur mengenai arus hbung singkat, analisa sistem tenaga, koordinasi rele, perhitungan busur api berdasarkan standar maupun metode modifikasi.

2. Pengumpulan data  
Mengumpulkan data dan gambar Single Line diagram lengkap dengan spesifikasi peralatannya.
3. Pemodelan dan Simulasi  
Memodelkannya dalam bentuk simulasi untuk mengetahui besar energi busur api yang dihasilkan dengan menggunakan ETAP.
4. Analisa data  
Hasil dari simulasi tersebut akan digunakan untuk memberikan tanda berupa tabel peringatan kepada para pekerja maupun orang disekitarnya akibat dampak kerusakan yang ditimbulkan akibat busur api dan perlengkapan pakaian keselamatan yang harus digunakan.
5. Kesimpulan  
Pada proses akhir ini dilakukan pengambilan kesimpulan dari proses tugas akhir.

## **1.6. Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi dan manfaat sebagai berikut :

1. Pembelajaran dan penyelesaian persoalan tentang energi busur api yang dihasilkan serta dampak kerusakan yang diakibatkan.
2. Pengelompokkan klasifikasi besar energi busur api sesuai dengan perlengkapan pakaian keselamatan yang diharapkan dapat mengurangi jatuhnya korban jiwa bagi para pekerja disekitarnya.
3. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya agar lebih dikembangkan untuk mereduksi energi busur api dalam kasus yang sama.

## **1.7. Sistematika Penulisan**

Bab 1 : Pendahuluan.

Bab berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, relevansi dan sistematika penulisan.

- Bab 2 : Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik.  
Bab ini membahas masalah fenomena tegangan tembus (breaking down), kegagalan isolasi, serta terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, analisis hubungan singkat, perhitungan energi busur api sesuai standar dan metode modifikasi.
- Bab 3 : Sistem Kelistrikan di Kaltim Metanol Industri.  
Bab ini menjelaskan mengenai sistem kelistrikan yang ada di Kaltim Metanol Industri.
- Bab 4 : Analisa Perhitungan Besar Energi Busur Api yang Dihasilkan.  
Bab ini membahas mengenai perhitungan energi busur api yang dihasilkan sesuai standar maupun dengan metode modifikasi.
- Bab 5 : Penutup  
Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari keseluruhan pembahasan yang telah dilakukan dari Tugas Akhir ini.

## **BAB II**

### **BUSUR API LISTRIK**

#### **2.1. Fenomena Busur Api Listrik (*Arc-flash*)**

Awal mula *arc-flash* muncul diakibatkan dari adanya arcing-fault. *Arcing-fault* sendiri dapat didefinisikan sebagai busur api yang diakibatkan oleh arus gangguan atau dengan kata lain terjadi kontak langsung dengan konduktor (*arcing-fault current*). Arus tersebut menciptakan sebuah plasma busur listrik dan melepaskan sejumlah energi yang berbahaya. Busur api listrik merupakan bagian dari arus listrik yang besar melalui udara yang terionisasi.

*Arc-flash* diakibatkan dari arcing-fault diantara fase bus-bar atau dengan netral (*ground*). Selama *arc-fault* terjadi, udara merupakan konduktor dan biasanya muncul pada tegangan lebih dari 120 volt. Besar *arcing-fault current* biasanya lebih rendah dari arus *bolted-fault current* dan dibawah *rating circuit breaker*.

Plasma energi yang dihasilkan dapat menimbulkan beberapa efek fisik antara lain berupa ledakan bola api yang terhempas ke luar, panas yang dihasilkan dapat menyebabkan luka bakar yang parah, cahaya yang menyilaukan, gelombang bertekanan yang dihasilkan seolah-olah seperti martil menghantam bagian dada dari tubuh hingga dapat menghempaskan orang disekitarnya, suara ledakan yang dapat mengganggu pendengaran dan tetesan logam cair akibat konduktor yang meleleh berterbangan ke segala arah seperti pecahan peluru. *Bolted-fault current* dapat disebabkan beberapa faktor diantaranya kegagalan mekanik, kegagalan isolasi, debu dan korosi atau kesalahan pekerja yang bekerja pada peralatan bertegangan.

Jumlah energi yang dihasilkan *arc-flash tergantung* dari level tegangan tempat arus gangguan terjadi, jarak pekerja dengan sumber arcing dan waktu yang dibutuhkan peralatan pengaman arus lebih untuk menghilangkan dan mengisolir gangguan.

## 2.2. Setting Rele Arus Lebih Waktu Invers

Batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. *Rele* arus lebih memiliki setelan *pickup* dan setelan *time dial*. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (2.1)$$

*Iset* adalah arus *pickup* dalam Ampere. Menurut standart British BS 142 batas penyetelannya adalah 1,05-1,4 *Iset*.

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut [9]:

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[ \left( \frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \quad (2.2)$$

Di mana :

*td* = waktu operasi (detik)

*T* = *time dial*

*I* = nilai arus (Ampere)

*Iset* = arus *pickup* (Ampere)

*k* = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)

$\alpha$  = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)

$\beta$  = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.1)

Untuk koefisien yang ada di persamaan 2.2 dapat dilihat pada tabel 2.1 untuk koefisien invers 1, untuk koefisien invers 1 dan untuk koefisien invers 1.



**Tabel 2.1** Koefisien invers time dial

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	$\alpha$	$\beta$
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

### 2.3. Perhitungan Besar Energi Busur Api Berdasarkan Standard IEEE 1584-2002[1]

Standar untuk analisis acuan besar busur api, yang didapatkan dari hasil pengukuran insiden energi berdasarkan arus hubung singkat dalam kondisi tertentu. Tes yang dilakukan jarang pada tegangan 1000 V ke bawah, yang sering dilakukan pengukuran adalah tegangan 2,4 kV atau lebih. Namun pada kesempatan kali ini rumus yang digunakan untuk mengukur besar insiden energi busur api yang ditimbulkan pada sistem 1 kV hingga 15 kV. Pada PT. Kaltim Methanol Industri memiliki switchgear pada tegangan menengah sebesar 6,6 kV sebanyak 3 buah yang terdiri dari switchgear 150-NS01, switchgear 150-NS01(02), dan new switchgear 150-NS02.

#### 2.3.1. Metode Perhitungan Arus Busur Api Berdasarkan IEEE 1584-2002 (*Arcing Current*)[1]

Perhitungan besar energi busur api diawali dengan mengetahui besar nilai *arcing current*. Nilainya didapatkan dari hasil arus hubung singkat 3 fasa dan diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$I_g I_a = 0,00402 + 0,983 I_g I_{bf} \quad (2.3)$$

Dimana

$$I_g = \log_{10}$$

$I_a$  = arus busur api / *arcing current* (kA).

$I_{bf}$  = *bolted three-phase fault at the bus symmetrical rms* (kA).

Dari persamaan (2.1) dapat ditulis kembali dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \lg Ia - 0,983 \lg I_{bf} &= 0,00402 \\
 \lg Ia - \lg I_{bf}^{0,983} &= 0,00402 \\
 \lg (Ia / I_{bf}^{0,983}) &= 0,00402 \\
 Ia / I_{bf}^{0,983} &= 10^{0,00402} \\
 Ia / I_{bf}^{0,983} &= 1,00929 \\
 Ia &= 1,01 \times I_{bf}^{0,983} \quad (2.4)
 \end{aligned}$$

### 2.3.2 Metode Perhitungan Besar Insiden Energi Busur Api Berdasarkan IEEE 1584-2002[1]

$$\lg En = K_1 + K_2 + 1,081 \lg Ia + 0,0011G$$

atau bisa dituliskan dengan persamaan berikut,

$$En = Ia^{1,081} \times 10^{(K_1 + K_2 + 0,0011G)} \quad (2.5)$$

Dengan adanya variabel waktu , <sup>(x)</sup> faktor dan jarak antara peralatan dengan pekerja maka akan menghasilkan jumlah energi yang dilepaskan ke udara. Besarnya dapat dituliskan dalam persamaan berikut dalam satuan cal/cm<sup>2</sup>

$$E = C_f \times En \times (t/0,2)(610/D)^x \quad (2.6)$$

Substitusi En dari persamaan (2.5) ke (2.6)

$$\begin{aligned}
 E &= C_f \times Ia^{1,081} \times 10^{(K_1 + K_2 + 0,0011G)} \times (t/0,2)(610/D)^x \\
 &= C_f \times 10^{(K_1 + K_2 + 0,0011G)} (610/D)^x \times Ia^{1,081} (t/0,2) \quad (2.5)
 \end{aligned}$$

Dimana,

- $En$  = Insiden energi normal tanpa pengaruh waktu dan jarak (Joule/cm<sup>2</sup>).  
 $K1$  = -0,792 untuk konfigurasi terbuka dan -0,555 untuk konfigurasi tertutup atau *box*.  
 $K2$  = 0 untuk sistem *ungrounded or high-resistance* dan -0,113 untuk sistem *grounded*.  
 $G$  = gap antara konduktor (mm).  
 $E$  = insiden energi(cal/cm<sup>2</sup>).  
 $C_f$  = 1,0 untuk tegangan lebih dari 1kV dan 1,5 untuk tegangan kurang dari 1 kV.  
 $t$  = *arcing time* (sec) pada alat proteksi diatas bus.  
 $D$  = jarak pekerja dengan sumber *arcing* (mm).  
 $x$  = eksponen jarak  
 $I_{bf}$  = bolted three phase fault at the bus symetrical rms (kA).

Besar nilai jarak pekerja (*distance*) dapat dilihat pada tabel 2.2, sesuai dengan standar IEEE 1584-2002.

**Tabel 2.2** Data jarak pekerja[1]

Classes of equipment	Typical working distance (mm)
15 kV switchgear	910
5 kV switchgear	910
Low-voltage switchgear	610
Low-voltage MCCs and panelboards	455
Cable	455

Untuk data eksponen jarak dari setiap konfigurasi dapat dilihat pada tabel 2.3 yang dikelompokkan berdasarkan nilai tegangan dan *equipment type*.

**Tabel 2.3** Data eksponen jarak[1]

System Voltage (kV)	Equipment Type	Typical gap between conductors (mm)	Distance x faktor
0,208 - 1	Open air	10 until 40	2,000
	Switchgear	32	1,473
	MCC and panels	25	1,641
	Cable	13	2,000
>1 - 5	Open air	102	2,000
	Switchgear	13 until 102	0,973
	Cable	13	2,000
>5 - 15	Open air	13 until 153	2,000
	Switchgear	153	0,973
	Cable	13	2,000

#### **2.4. Perhitungan dengan Metode Modifikasi dari Standart IEEE 1584-2002[2]**

Pada Metode modifikasi kali ini terdapat sedikit perbedaan dengan standar yaitu dengan cara mensubsitusikan persamaan energi busur api dengan data real. Dengan demikian memunculkan konstanta baru yang besarnya tergantung dengan data sistem yang telah ada. Selain itu, terdapat pengelompokkan waktu (*time domain*) untuk mengetahui lamanya selang waktu kontribusi arus hubung singkat yang diberikan serta memperhatikan waktu bekerjanya rele pengaman.

##### **2.4.1. Tegangan 6,6 kV untuk Switchgear Ungrounded System**

Tegangan 6,6 kV untuk *switchgear ungrounded system* pada sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri (IEEE 1584-2002).

$Cf = 1,0$  ;  $K1 = -0,555$  ;  $K2 = 0$  ;  $G = 153\text{mm}$  ;  $x = 0,973$  ;  $D = 914,4\text{mm}$

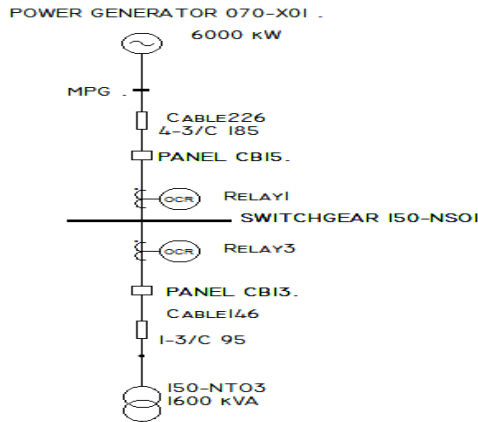
Dari data di atas dapat dituliskan dengan,

$$\begin{aligned}
 E &= 1 \times 10^{(-0,555+0+0,0011 \cdot 153)} \times (610/914,4)^{0,973} \times I_a^{1,081} (t/0,2) \\
 E &= 1 \times 10^{(-0,3867)} \times 0,674 \times I_a^{1,081} \times t/0,2 \\
 E &= 0,276 \times I_a^{1,081} \times t/0,2 \\
 E &= 1,38 \times I_a^{1,081} \times t \text{ atau } E = 1,39 \times I_{bf}^{1,063} \times t
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

Untuk metode perhitungan modifikasi berdasarkan waktu menggunakan persamaan diatas dikarenakan yang berubah adalah arus gangguan dan waktu. Untuk parameter lainnya tidak berubah.

#### 2.4.2. Perhitungan dengan Pengelompokkan Waktu (*Time Domain*)[2]

Dalam perhitungan pengelompokkan waktu ini dapat dicontohkan pada sistem kelistrikan di PT. Kaltim Methanol Industri pada gambar 2.1 dengan rele 1 sebagai sensor untuk memberikan sinyal trip kepada cb panel 15 untuk mengamankan Main Power Generator dengan daya 6MW.



**Gambar 2.1** Single line diagram pada tipikal sistem kelistrikan di PT. Kaltim Methanol Industri

Waktu trip CB PANEL 15 = 0,8s

$$E \text{ saat } (0 - 0,03s) = 1,39 \times 15,51^{1,063} \times 0,03 = 0,77 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat } (0,03 - 0,08s) = 1,39 \times 13,88^{1,063} \times 0,05 = 1,143 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat } (0,08 - 0,6s) = 1,39 \times 9,56^{1,063} \times 0,52 = 8 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat } (0,6 - 0,8s) = 1,39 \times 9,56^{1,063} \times 0,2 = 3,075 \text{ cal/cm}^2$$

$$E_{\text{total}} = E \text{ saat } (0 - 0,03s) + E \text{ saat } (0,03 - 0,08s) + E \text{ saat } (0,08 - 0,6s) + E \text{ saat } (0,6 - 0,8s)$$

$$E_{\text{total}} = 0,77 + 1,143 + 8 + 3,075$$

$$E_{\text{total}} = 12,99 \text{ cal/cm}^2$$

Dari contoh perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa nilai energy insiden busur api yang terjadi adalah sebesar 12,99 cal/cm<sup>2</sup> jika dihitung berdasarkan arus gangguan dalam fungsi waktu.

## **2.5. Pengelompokkan Kategori Energi Busur Api dengan Perlengkapan Keselamatan Diri sesuai Standart NFPA 70E-2009[3]**

Setelah dilakukan perhitungan energi busur api yang dihasilkan pada tiap-tiap bus *switchgear*. Langkah selanjutnya adalah mengkategorikan perlengkapan keselamatan yang harus digunakan bagi siapa saja yang masuk ke area tersebut (*workers*). Kategori ini didasari atas besarnya energi yang dihasilkan serta dampak yang ditimbulkan bagi tubuh manusia.

Selain itu juga menentukan flash boundary protection yaitu jarak antara pekerja tanpa alat perlindungan diri dengan sumber busur api langsung. Perlengkapan apa saja yang harus digunakan diatur dalam standar NFPA 70E-2009. Namun hal kontras justru terjadi dimana alat perlindungan diri didasarkan untuk menahan panas dengan maksimum energi sedangkan IEEE 1584-2002 berdasarkan dari hasil pengukuran. Oleh karena itu, sering kali terjadi perlindungan berlebih yang dapat mengurangi efektifitas pekerja karena sulit bergerak akibat peralatan pelindung yang berat dan kaku. Untuk kategori perlengkapan pelindung diri dapat dilihat pada tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Kategori perlengkapan pelindung diri (*Personal Protective Equipment/PPE*)[3]

Category	Cal/cm <sup>2</sup>	Clothing
0	1,2	Unterated Cotton
1	4	Flame retardant (FR) shirt and FR pants
2	8	Cotton underwear FR shirt and FR pants
3	25	Cotton underwear FR shirt, FR pants and FR coveralls
4	40	Cotton underwear FR shirt, FR pants and double layer switching coat and pants

Contoh pakaian pelindung dan klasifikasi alat perlidungan diri dapat dilihat pada gambar 2.3 dan gambar 2.4 yang dikenakan ketika bekerja pada peralatan bertegangan.



**Gambar 2.2** Pakaian pelindung yang harus dikenakan ketika bekerja pada peralatan bertegangan.



**Gambar 2.3** Klasifikasi alat perlindungan diri berdasarkan kategori.

Gambar diatas menunjukkan kategori Personal Protective Equipment (PPE) sesuai dengan kategori besar insiden busur api yang akan ditimbulkan. Semakin besar energi insiden busur api yang akan ditimbulkan juga akan mempengaruhi jenis Personal Protective Equipment (PPE) yang akan dipakai jika mendekati peralatan bertegangan saat melakukan perawatan atau perbaikan. Jika kita tidak memperhatikan Personal Protective Equipment (PPE) akan mengakibatkan kecelakaan kerja yang dapat menimbulkan kematian akibat besar insiden busur api yang akan ditimbulkan. Untuk efek yang akan ditimbulkan kepada manusia akibat terkena busur api dapat dilihat pada tabel 2.5.



**Tabel 2.5** Efek arus listrik pada tubuh manusia.

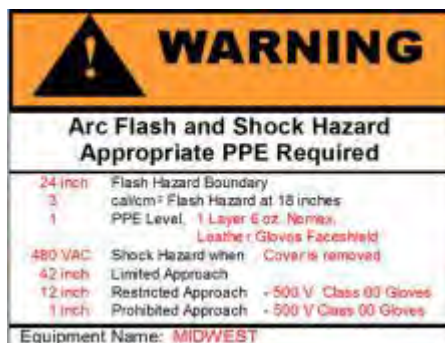
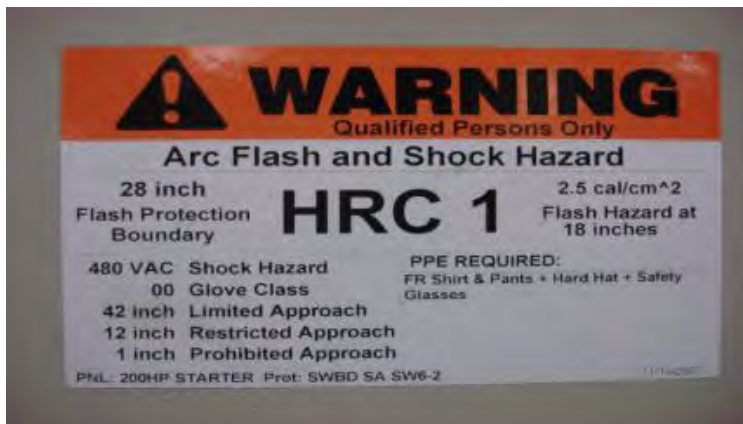
Current	Reaction
Below 1 miliampere	Generally not perceptible
1 miliampere	Faint tingle
5 miliampere	Slight shock felt; not painful but disturbing. Average individual can let go. Strong involuntary reactions can lead to other injuries
6-25 miliampere (women)	Painful shock, loss of muscular control
9-30 miliampere (men)	The freezing current or “let go” range. Individual cannot let go, but can be thrown away from the circuit if extensor muscles are stimulated
50-150 miliampere	Extreme pain, respiratory arrest, severe muscular contractions. Death is possible.
1000-4300 miliampere	Rhythmic pumping action of the heart ceases. Muscular contraction and nerve damage occur; death likely
10000 miliampere	Cardiac arrest, severe burns; death probable.

Untuk dampak kerusakan yang diakibatkan dari busur api dapat dilihat pada gambar 2.5 yang dapat merusak peralatan. Oleh sebab itu bahaya busur api yang ditimbulkan harus diberikan peringatan agar setiap orang yang mendekati peralatan bertegangan yang memiliki bahaya busur api tersebut bisa lebih berhati-hati. Dan

diberi label peringatan seperti pada gambar 2.6 agar setiap orang tahu bahaya busur api yang akan ditimbulkan tergolong kategori energinya.



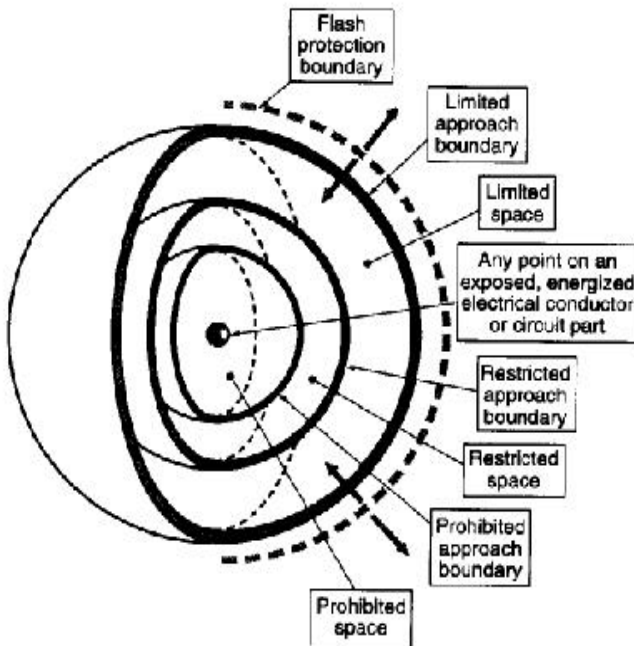
**Gambar 2.4** Dampak kerusakan akibat busur api



**Gambar 2.5** Label peringatan insiden busur api.

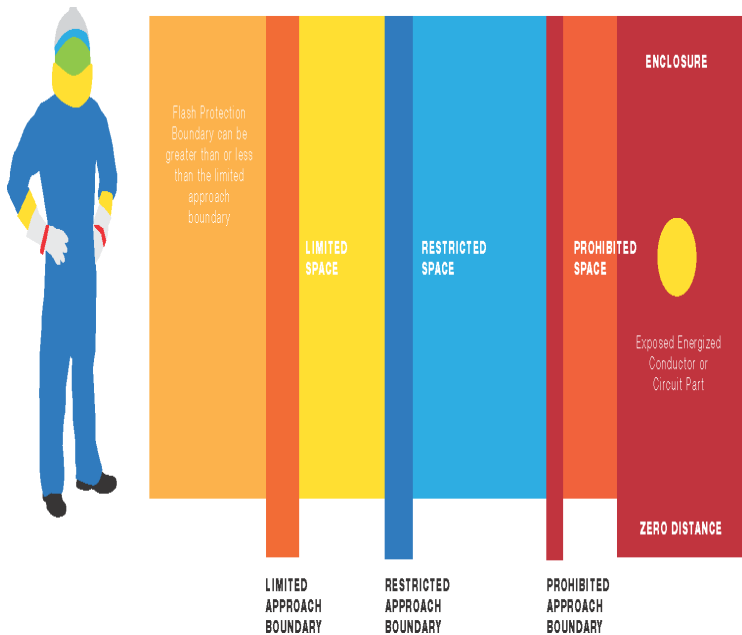
## 2.6. Flash Protection Boundary[4]

Pendekatan batas jarak dari bagian konduktor aktif dimana orang pada jarak tersebut dapat terpapar luka bakar tingkat dua jika ledakan busur api listrik terjadi. Jarak tersebut dapat diketahui apabila besar energi busur api listrik tersebut telah terhitung. Pada gambar 2.7 terdapat ilustrasi batas aman dari konduktor yang bertegangan. Dan pada gambar 2.8 terdapat klasifikasi batas jarak pekerja perlindungan dari sumber arcing dengan pekerja.



**Gambar 2.6** Ilustrasi batas aman dari konduktor bertegangan.

- a. Limited Approach Boundary  
Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat sebuah bahaya sengatan listrik.
- b. Restricted Approach Boundary  
Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat peningkatan resiko shock yang terjadi karena busur api dikombinasikan dengan gerakan tidak sengaja pekerja.
- c. Prohibited Approach Boundary  
Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana pekerja dianggap seperti melakukan kontak langsung dengan konduktor aktif.



**Gambar 2.7** Klasifikasi batas jarak pekerja perlindungan dari sumber arc dengan pekerja.

### 2.6.1. Flash Protection Boundary sesuai Standart IEEE 1584-2002[1]

*Flash Protection Boundary* merupakan jarak batas dimana seseorang tanpa memakai alat pelindung yang memadai (*Personal Protective Equipment/PPE*) dapat terkena luka bakar tingkat dua yang sulit disembuhkan akibat ledakan busur api. Metode perhitungan jarak tersebut dijelaskan menurut persamaan IEEE 1584-2002 berikut.

$$D_B = [ 4,184 \times Cf \times En \times (t/0,2)(610^x/E_B) ]^{1/x} \quad (2.8)$$

Dimana,

$D_B$  = batas jarak dari titik *arc*ing (mm)

$Cf$  = faktor pengali

1,0 untuk tegangan di atas 1 kV

1,5 untuk tegangan di bawah 1 kV

$En$  = incident energy normalized

$E_B$  = incident energy in J/cm<sup>2</sup> at the boundary distance  
can be set at 5,0 J/cm<sup>2</sup> for bare skin (no hood)

$t$  = waktu (detik)

$x$  = eksponen jarak

## **BAB III**

### **SISTEM KELISTRIKAN PT. KALTIM METHANOL INDUSTRI**

#### **3.1. Sistem Kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri**

PT. Kaltim Methanol Industri adalah pabrik yang memproduksi methanol, terletak dikawasan industri PT. Kaltim Industrial Estate (salah satu anak perusahaan PT. Pupuk Kalimantan Timur) kota Bontang, sekitar 110 klometer sebelah utara kota Samarinda, Ibukta Provisi Kalimantan Timur. Dalam Prosesnya pabrik methanol menggunakan gas alam dari Badak Gas Field Center sebagai bahan baku yang dipasok oleh perusahaan production sharing Pertamina yaitu Total Fina Elf Indonesia, Vico Indonesia, dan Chevron.. Total beban di PT KMI pada opearsi normal antara range 5,5 MW sampai dengan 6 MW. Jika dilihat dari single line diagramnya , secara keseluruhan sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri memiliki 2 level tegangan yaitu 6,6 kV dan 0,4 k V dengan frekuensi 50 Hz yang disuplai oleh Main Generator Power dengan daya 6MW.

Namun sistem kelistrikan di PT. Kaltim Methanol Industri tidak mempunyai emergency bus bar dan tidak mempunyai fasilitas eksternal untuk mensikronkan dengan sumber daya listrik dari luar PT. Kaltim Methanol Industri. Selain itu, jika dilihat dari single line diagram, hampir seluruh beban disuplai dengan menggunakan single bus bar sehingga apabila terjadi kerusakan di generator utama atau pada saat memerlukan reventive maintenance maka seluruh pabrik akan mati total.

Oleh karena itu, untuk meingkatkan keandalan sistem dan kontinuitas penyaluran daya agar proses produksi tidak terhambat maka ditambahkan koneksi dengan trafo Kaltim Daya Mandiri (KDM) sebesar 4 MVA dengan level tegangan 11 kV yang terletak pada bus 26. Terdapat 3 bus utama dengan tegangan sebesar 6,6 kV

dan 5 bus tegangan 0,4 kV yang dimiliki oleh PT. Kaltim Methanol Industri.

Pada tabel 3.1 terdapat data pembangkit utama PT. Kaltim Methanol Industri sebagai penyuplai tenaga listrik utama di PT. Kaltim Methanol Industri.

**Tabel 3.1** Data pembangkit utama di PT. Kaltim Methanol Industri.

Nama Pembangkit	Kapasitas Daya	Keterangan
Main Generator Power 070-X01	6 MW	6,6 kV; pf=80%; Eff=97%; Swing

Pada tabel 3.2 terdapat data emergency power generator PT. Kaltim Methanol Industri sebagai pembangkit cadangan ketika terjadi kerusakan pada pembangkit utama.

**Tabel 3.2** Data emergency power generator di PT. Kaltim Methanol Industri.

Nama Pembangkit	Kapasitas Daya	Keterangan
Emergency Power Generator I	1,5 MW	6,6 kV; pf=80%; Eff=97%; Voltage Control
Emergency Power Generator II	1,5 MW	6,6 kV; pf=80%; Eff=97%; Voltage Control

Pada tabel 3.3 terdapat data busbar yang ada di PT. Kaltim Methanol Industri berdasarkan tegangan nominal dari setiap busbar yang ada di PT. Kaltim Methanol Industri. Dari keseluruhan busbar yang ada di PT. Kaltim Methanol Industri terdapat 9 buah busbar yang mempunyai tegangan nominal yang berbeda-beda yaitu 11kV, 6,6 kV dan 0,4 kV.



**Tabel 3.3** Data busbar di PT. Kaltim Methanol Industri.

NO	ID BUS	TEGANGAN (kV)
1	Bus 26	11
2	Switchgear 150-NS01	6,6
3	Switchgear 150-NS01 (02)	6,6
4	New Busbar 150-NS02	6,6
5	MCC 150-NM01/A	0,4
6	MCC 150-NM01/A	0,4
7	MCC 150-NM01/A	0,4
8	MCC 150-NM01/A	0,4
9	NEW MCC150-NM01/A	0,4

Dan pada tabel 3.4 terdapat data transformator yang ada di PT. Kaltim Methanol Industri yang memiliki kapasitas yang berbeda-beda dan mempunya spesifikasi tegangan primer dan sekunder yang berbeda pula.

**Tabel 3.4** Data Transformator PT. Kaltim Methanol Industri.

NO	TRANSFORMATOR	PRIMER	SEKUNDER	KVA
1	T7 (Trafo KDM)	11kV	6,6kV	4000
2	150 NT-01	6,6kV	0,4kV	1600
3	150 NT-02	6,6kV	0,4kV	1600
4	150 NT-03	6,6kV	0,4kV	1600
5	150 NT-04	6,6kV	0,4kV	1600
6	150 NT-05	6,6kV	0,4kV	600

Untuk keseluruhan sistem kelistrikan di PT. Kaltim Methanol Industri dapat dilihat di gambar 3.1 yang berupa gambar single line diagram dari PT. Kaltim Methanol Industri.



### 3.2. Data Beban Kelistrikan pada Tegangan 6,6 kV di PT. Kaltim Methanol Industri

Pada busbar utama dengan tegangan 6,6 kV memiliki beban berupa 14 motor induksi dan 1 beban statis. Data beban pada busbar utama dapat dilihat pada tabel 3.5

**Tabel 3.5** Data beban busbar 6,6 kV PT. Kaltim Methanol Industri.

ID	Bus	Rating	FLA	PF
110-D01 CM	New Busbar 150-NS02	280 kW	30,63	0,8
065_G01 AM	New Busbar 150-NS02	1150 kW	115,2	0,87
065_G01 BM	Switchgear 150-NS01	1150 kW	115,2	0,87
065_G01 CM	Switchgear 150-NS01	1150 kW	115,2	0,87
065_G01 SM	Switchgear 150-NS01	1150 kW	115,2	0,87
Load Maintenance BLD	Switchgear 150-NS01 (02)	209 kW	317,5	0,95
140_C01M	Switchgear 150-NS01 (02)	250 kW	27,41	0,8
110_G01 BM	Switchgear 150-NS01 (02)	280 kW	30,63	0,8
110-G01 AM	Switchgear 150-NS01 (02)	280 kW	30,63	0,8

**Lanjutan tabel 3.5** Data beban busbar 6,6 kV PT. Kaltim Methanol Industri

ID	Bus	Rating	FLA	PF
015-G06 SM	Switchgear 150-NS01 (02)	260 kW	27,21	0,84
015-G06 AM	Switchgear 150-NS01 (02)	260 kW	27,21	0,84
015-G05 SM	Switchgear 150-NS01 (02)	650 kW	66,89	0,85
015-G01 SM	Switchgear 150-NS01 (02)	850 kW	85,44	0,87
010-C02 M	Switchgear 150-NS01 (02)	400 kW	43,02	0,81
010-C01 M	Switchgear 150-NS01 (02)	530 kW	57,37	0,81

### **3.3. Data Beban Kelistrikan pada Tegangan 0,4 kV di PT. Kaltim Methanol Industri**

PT. Kaltim Methanol Industri memiliki 5 beban industri utama yang harus di suplai yaitu Emergency Equipment Load, Load Utility 400 V (A), Load Utility 400V (S), Load MeOH \$)) V (A) dan Load MeOH 400 V (S).

#### **3.3.1. Data Beban Emergency Equipment Load**

Emergency Equipment Load disuplai oleh trafo 150 NT-03 pada bus NEW MCC 150-NM03 dengan beban rata-rata berupa motor pompa untuk membantu kebutuhan produks dan static load.

Berikut adalah data-data beban motor dan static load pada Emergency Load dapat dilihat pada tabel 3.6

**Tabel 3.6** Data emergency equipment load PT. Kaltim Methanol Industri.

ID	Rating	FLA	PF
010_G01 AM	15 kW	28,64	0,75
010_GC20_03M	1,5 kW	3,85	0,55
015_GG013_02M	0,75 kW	2,06	0,54
015_GG05S_02M	0,75 kW	2,06	0,54
015_GT01_02M	2 kW	4,81	0,61
015_GT05_02M	2 kW	4,81	0,61
020_GC01_03M	3 kW	6,07	0,71
021_YT01_01M	0,75 kW	2,06	0,54
070_GT01_04M	2,2 kW	5,22	0,61
130_GC01_03M	3 kW	6,07	0,71
130_GC02_03M	3 kW	6,07	0,71
130_GC03_03M	2 kW	4,81	0,61
130_YT01_01M	0,37 kW	1,17	0,46
150_ND01	10,8 kW	17,32	0,9
150_NU01	50 kW	72,17	1
150_NL01	10 kW	18,04	0,8

### **3.3.2. Data Beban Load Utility 400 V (A)**

Load Utility 400 V (A) juga disuplai oleh trafo 150 NT-03 pada bus MCC 150-NM02/A dengan beban rata-rata berupa motor pompa untuk peralatan utama produksi dan static load. Pada Load Utility 400 V (A) dibagi menjadi 9 beban komposit motor ( data terlampir).

### **3.3.3. Data Beban Load Utility 400 V (S)**

Load Utility 400 V (S) di suplai oleh trafo 150 NT-04 pada bus MCC 150-NM02/B dengan beban rata-rata berupa motor pompa untuk peralatan utama produksi dan static load. Pada Load Utility 400 V (S) dibagi lagi menjadi 9 beban komposit motor (data terlampir).

### **3.3.4. Data Beban Load MeOH 400 V (A)**

Load MeOH 400 V (A) disuplai oleh trafo 150 NT-01 pada bus MCC 150-NM01/B dengan beban rata-rata berupa motor untuk produksi utama methanol dan static load. Pada Load MeOH 400 V (A) dibagi lagi menjadi 9 beban komposit motor (data terlampir).

### **3.3.5. Data Beban Load MeOH 400 V (S)**

Load MeOH 400 V (S) disuplai oleh trafo 150 NT-02 pada bus MCC 150-NM01/A dengan beban rata-rata berupa motor untuk produksi utama methanol dan static load. Pada Load MeOH 400 V (A) dibagi lagi menjadi 5 beban komposit motor (data terlampir).

## **BAB IV**

### **SIMULASI DAN ANALISA**

#### **4.1. Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri**

Tugas akhir ini membahas mengenai analisis sistem pengaman dan arc flash pada sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri yaitu pada sistem tegangan menengah yaitu 6,6 kV yang terdapat di bus Switchgear 150-NS01, Switchgear 150-NS01 (02), dan New Busbar 150-NS02. Sedangkan untuk analisis mengenai arc flash meliputi penentuan arus arcing, incident energy, kategori personal protective equipment (PPE) dan Flash protection boundary.

Sistem kelistrikan PT. Kaltim Methanol Industri dimodelkan dalam bentuk single line diagram dengan menggunakan ETAP 7.5 untuk dilakukan simulasi terhadap hubungan singkat, koordinasi proteksi peralatan dan arc flash.

Dari pembuatan *single line diagram* tersebut dapat diketahui sistem kelistrikan *eksisting* dan sistem kelistrikan baru akibat penambahan dari trafo Kaltim Daya Mandiri (KDM). Keadaan koordinasi proteksi pada PT. Kaltim Methanol Industri masih memiliki kekurangan yang akan mengganggu kontinuitas penyaluran daya sehingga pada tugas akhir ini dilakukan resetting dan setting baru koordinasi proteksi hanya pada sistem tegangan menengah yaitu 6,6 kV yang terdapat di bus Switchgear 150-NS01, Switchgear 150-NS01 (02), dan New Busbar 150-NS02.

#### **4.2. Analisis Sistem Pengaman**

Analisa sistem pengaman di PT. Kaltim Methanol Industri pada sistem *eksisting* yang dianalisa menjadi 5 tipikal sistem operasi yaitu :

1. Tipikal 1 yaitu koordinasi sistem pengaman rele arus lebih fasa dari Main Power Generator daya 6 MW sampai dengan New Bus Bar 150-NS02. Pada New Bus Bar 150-NS02 terdapat motor 065-G01AM dengan daya 1150kW.

2. Tipikal 2 yaitu koordinasi sistem pengaman rele arus lebih fasa dari Main Power Generator daya 6 MW sampai dengan New Bus Bar150-NS02. Pada New Bus Bar 150-NS02 terdapat trafo 150-NT02 dengan daya 1600kVA. Dan akibat penambahan trafo KDM berdaya 4 MVA maka akan terdapat koordinasi pengaman rele arus lebih fasa baru pada tipikal 2A yang akan dikoordinasikan setting rele pengaman arus lebih fasanya.
3. Tipikal 3 yaitu koordinasi sistem pengaman rele arus lebih fasa dari Main Power Generator daya 6 MW sampai dengan New Bus Bar150-NS02. Pada New Bus Bar 150-NS02 terdapat terdapat trafo 150-NT04 dengan daya 1600 kVA.
4. Tipikal 4 yaitu koordinasi sistem pengaman rele arus lebih fasa dari Main Power Generator daya 6 MW sampai dengan Bus Bar150-NS01. Pada Bus Bar 150-NS01 terdapat trafo 150-NT03 dengan daya 1600 kVA.
5. Tipikal 5 yaitu koordinasi sistem pengaman rele arus lebih fasa dari Main Power Generator daya 6 MW sampai dengan Bus Bar150-NS01. Pada Bus Bar 150-NS01 terdapat trafo 150-NT01 dengan daya 1600 kVA.

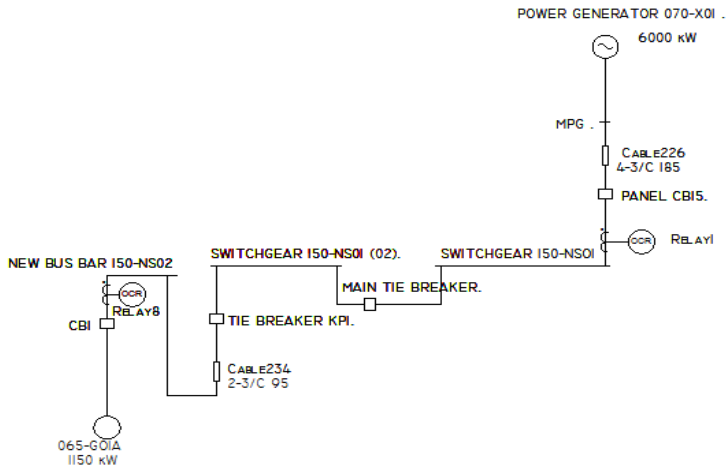
#### **4.2.1. Sistem Eksisting Pengaman PT. Kaltim Methanol Industri**

Pada sistem eksisting PT. Kaltim Methanol Industri terdapat koordinasi rele pengaman arus lebih fasa disetiap rele pengaman sebelum adanya penambahan trafo KDM berdaya 4 MVA pada new bus bar 150-NS02.



#### 4.2.1.1. Sistem Eksisting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 1

Untuk sistem eksisting rele pengaman pada tipikal 1 PT. Kaltim Methanol Industri dapat dilihat pada gambar 4.1 single line diagram dibawah ini



**Gambar 4.1** Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 1.

- ❖ Setting eksisting rele 8 yang memberikan sinyal trip kepada CB 1 sebagai pengaman motor 065-G01AM dengan daya 1150kW dapat dilihat pada tabel 4.1 yaitu

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: G60
<i>FLA motor 065-G01 AM</i>	: 129,5A
<i>Isc min new bus bar 150-NS02</i>	: 4,31 kA
<i>CT</i>	: 150/1

**Tabel 4.1** Sistem eksisting rele 8.

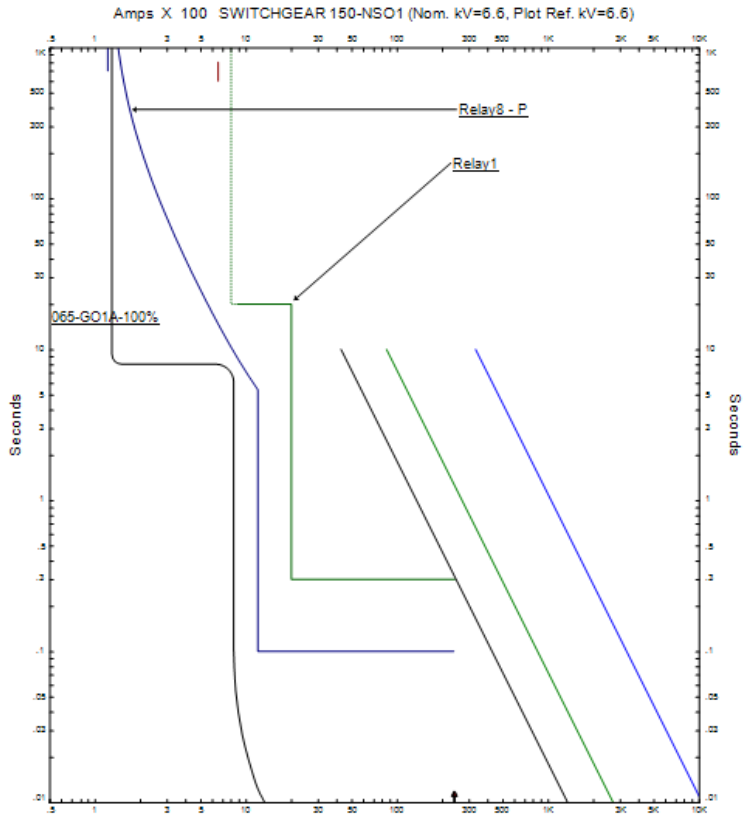
Overcurrent	
Curve	IEEE-Extremely Inverse
Pickup	0,813
Time Dial	13
Instantaneous	
Pickup	8
Delay (sec)	0,1

- ❖ Setting eksisting rele 1 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 15 sebagai pengaman Main Power Generator dengan daya 6 MW dapat dilihat pada tabel 4.2 yaitu

*Manufacturer* : SEG  
*Model* : XI 1-I  
*FLA* generator 070-X01 : 656,1 A  
 Isc min kontribusi 070-X01 : 4,34 kA  
 CT : 800/1

**Tabel 4.2** Sistem eksisting rele 1

Overcurrent	
Curve	Definite time
Pickup	1
Time Dial	20
Instantaneous	
Pickup	2.5
Delay (sec)	0,3

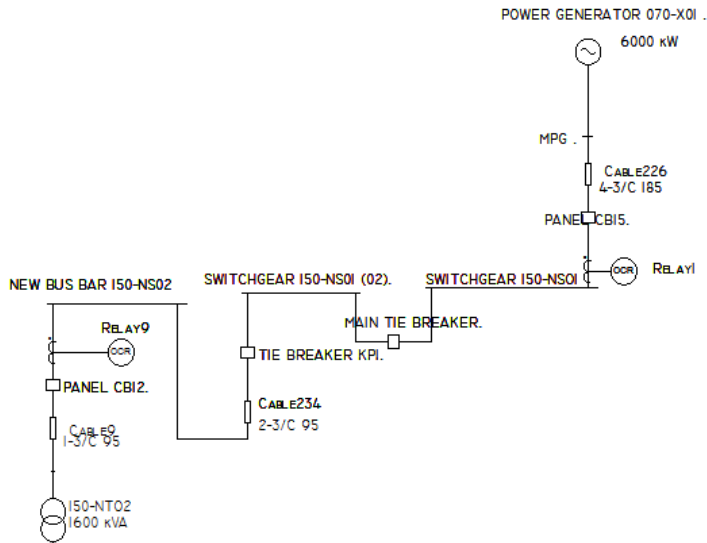


**Gambar 4.2** Sistem eksisting rele pengaman tipikal 1.

Gambar 4.2 merupakan hasil sistem eksisting rele pengaman arus lebih fasa dari PT. Kaltim Methanol Industri pada tipikal 1 yang terdiri dari rele 8 sebagai pengaman motor 065-G01A, dan rele 1 sebagai pengaman Main Generator Power.

#### 4.2.1.2. Sistem Eksisting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 2

Untuk sistem eksisting rele pengaman pada tipikal 2 PT. Kaltim Methanol Industri dapat dilihat pada gambar 4.3 single line diagram dibawah ini



**Gambar 4.3** Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 2.

- ❖ Setting rele 9 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 12 sebagai pengaman trafo 150-NT02 dengan daya 1600kVA dapat dilihat pada tabel 4.3 yaitu

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: G60
<i>FLA</i> primer trafo 150-NT02	: 140 A
Isc min new bus bar 150-NS02	: 4,31 kA
CT	: 200/1

**Tabel 4.3** Sistem eksisting rele 9

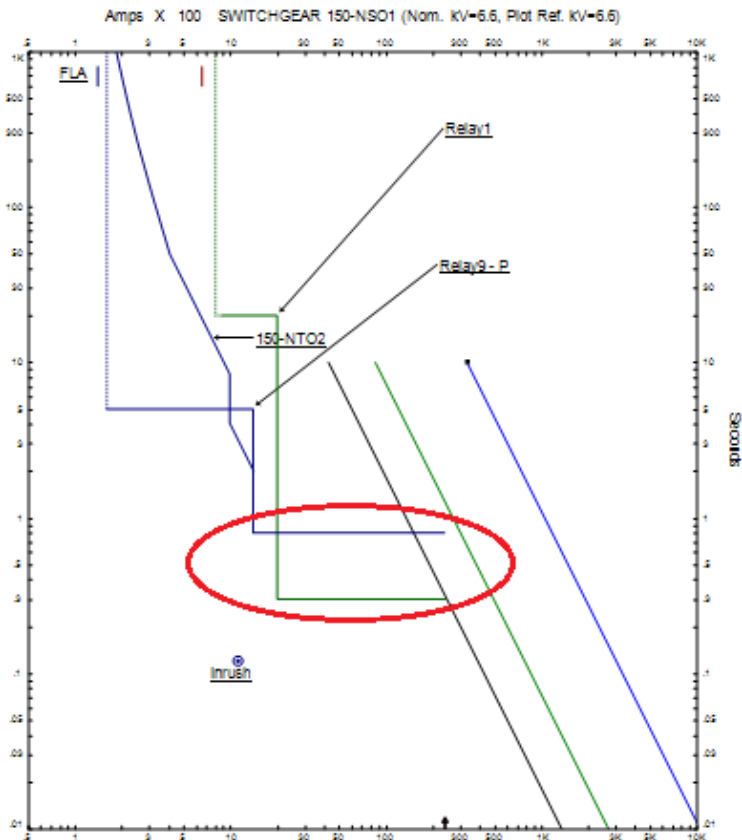
Overcurrent	
Curve	Definite time
Pickup	0,8
Time Dial	5
Instantaneous	
Pickup	7
Delay (sec)	0,8

- ❖ Setting eksisting rele 1 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 15 sebagai pengaman Main Power Generator dengan daya 6 MW dapat dilihat pada tabel 4.4 yaitu

*Manufacturer* : SEG  
*Model* : XI 1-I  
*FLA generator 070-X01* : 656,1 A  
*Isc min kontribusi 070-X01* : 4,34 kA  
*CT* : 800/1

**Tabel 4.4** Sistem eksisting rele 1

Overcurrent	
Curve	Definite time
Pickup	1
Time Dial	20
Instantaneous	
Pickup	2,5
Delay (sec)	0,3

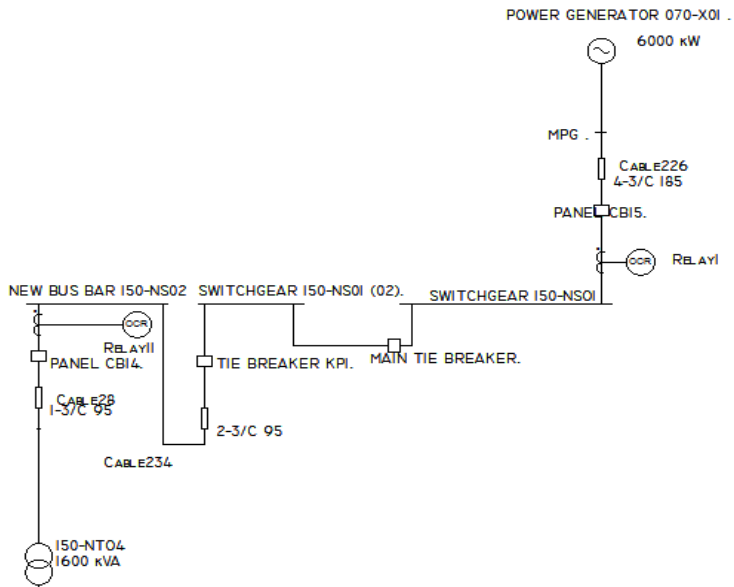


**Gambar 4.4** Sistem eksisting rele pengaman tipikal 2.

Gambar 4.4 merupakan hasil sistem eksisting rele pengaman arus lebih fasa dari PT. Kaltim Methanol Industri pada tipikal 2 yang terdiri dari rele 9 sebagai pengaman trafo 150-NT02, dan rele 1 sebagai pengaman Main Generator Power. Sistem eksisting dari PT. Kaltim Methanol Industri memiliki kesalahan dalam koordinasi waktu yang akan mengganggu kontinuitas penyaluran daya.

#### 4.2.1.3. Sistem Eksisting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 3

Untuk sistem eksisting rele pengaman pada tipikal 3 PT. Kaltim Methanol Industri dapat dilihat pada gambar 4.5 single line diagram dibawah ini



**Gambar 4.5** Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 3.

- ❖ Setting rele 11 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 14 sebagai pengaman trafo 150-NT04 dengan daya 1600 kVA dapat dilihat pada tabel 4.5 yaitu

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: G60
<i>FLA primer trafo 150-NT04</i>	: 140 A
<i>Isc min new bus bar 150-NS02</i>	: 4,31 kA
<i>CT</i>	: 200/1

**Tabel 4.5** Sistem eksisting rele 11.

Overcurrent	
Curve	Definite time
Pickup	0,8
Time Dial	5
Instantaneous	
Pickup	7
Delay (sec)	0,8

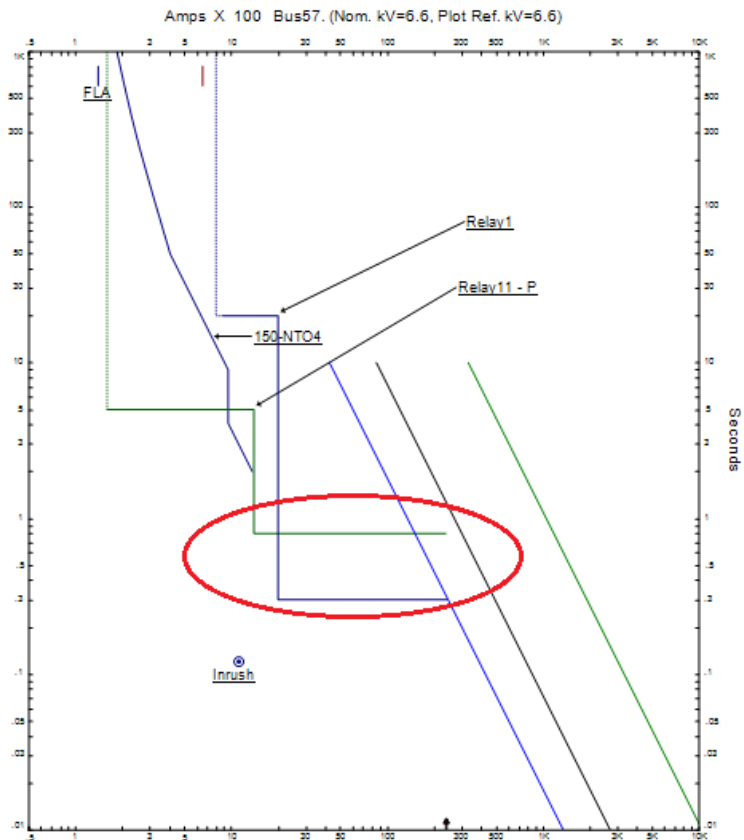
- ❖ Setting eksisting rele 1 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 15 sebagai pengaman Main Power Generator dengan daya 6 MW dapat dilihat pada tabel 4.6 yaitu

*Manufacturer* : SEG  
*Model* : XI 1-I  
*FLA generator 070-X01* : 656,1 A  
*Isc min kontribusi 070-X01* : 4,34 kA  
*CT* : 800/1

**Tabel 4.6** Sistem eksisting rele 1.

Overcurrent	
Curve	Definite time
Pickup	1
Time Dial	20
Instantaneous	
Pickup	2.5
Delay (sec)	0,3



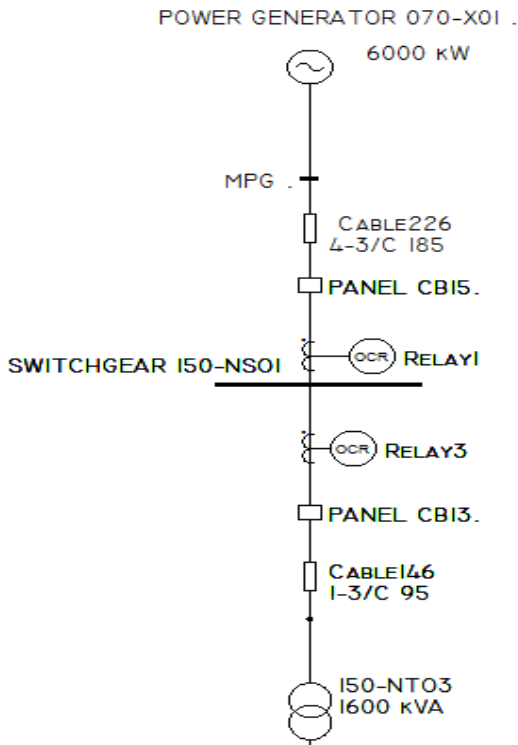


**Gambar 4.6** Sistem eksisting rele pengaman tipikal 3.

Gambar 4.6 merupakan hasil sistem eksisting rele pengaman arus lebih fasa dari PT. Kaltim Methanol Industri pada tipikal 3 yang terdiri dari rele 11 sebagai pengaman trafo 150-NT04, dan rele 1 sebagai pengaman Main Generator Power. Sistem eksisting dari PT. Kaltim Methanol Industri memiliki kesalahan dalam koordinasi waktu yang akan mengganggu kontinuitas penyaluran daya.

#### 4.2.1.4. Sistem Eksisting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 4

Untuk sistem eksisting rele pengaman pada tipikal 4 PT. Kaltim Methanol Industri dapat dilihat pada gambar 4.7 single line diagram dibawah ini



**Gambar 4.7** Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 4.

- ❖ Setting rele 3 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 13 sebagai pengaman trafo 150-NT03 dengan daya 1600 kVA dapat dilihat pada tabel 4.7 yaitu

*Manufacturer* : GE Multilin  
*Model* : G60  
*FLA* primer trafo 150-NT03 : 140 A  
*Isc* min bus bar 150-NS01 : 4,34 kA  
*CT* : 200/1

**Tabel 4.7** Sistem eksisting rele 3

Overcurrent	
Curve	Definite time
Pickup	0,8
Time Dial	5
Instantaneous	
Pickup	7
Delay (sec)	0,8

- ❖ Setting eksisting rele 1 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 15 sebagai pengaman Main Power Generator dengan daya 6 MW dapat dilihat pada tabel 4.8 yaitu

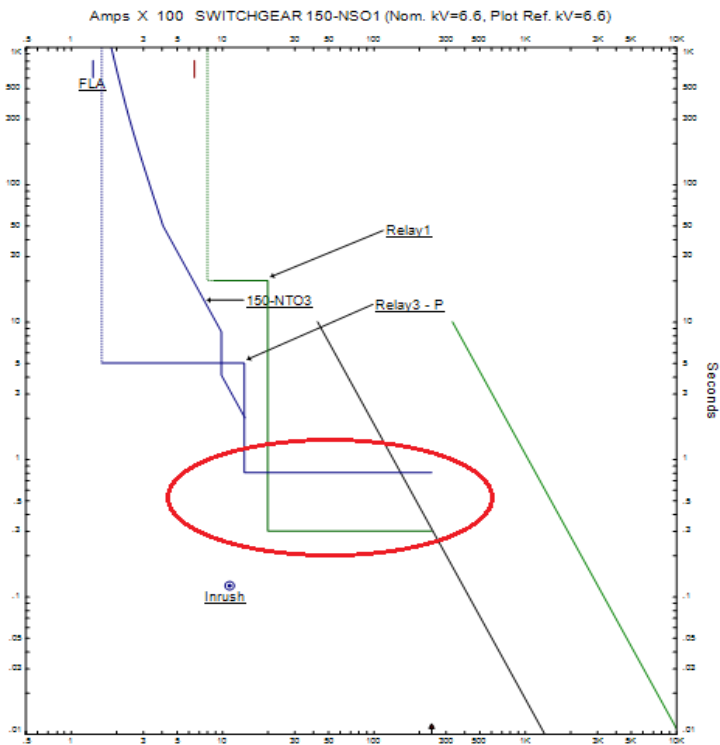
*Manufacturer* : SEG  
*Model* : XI 1-I  
*FLA* generator 070-X01 : 656,1 A  
*Isc* min kontribusi 070-X01 : 4,34 kA  
*CT* : 800/1

**Tabel 4.8** Sistem eksisting rele 1

Overcurrent	
Curve	Definite time
Pickup	1
Time Dial	20

**Lanjutan tabel 4.8** Sistem eksisting rele 1

Instantaneous	
Pickup	2.5
Delay (sec)	0,3



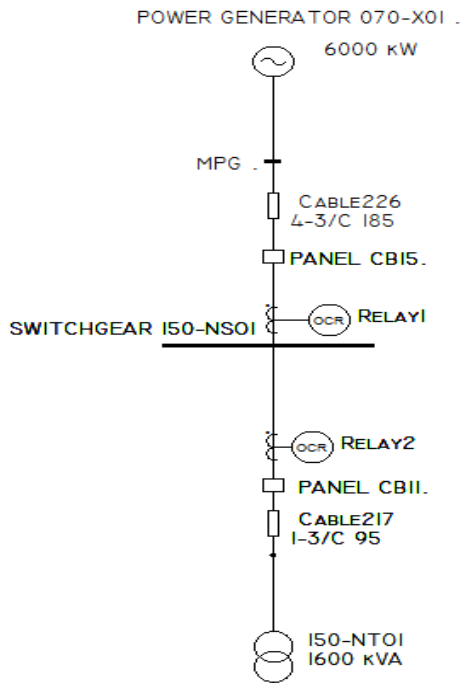
**Gambar 4.8** Sistem eksisting rele pengaman tipikal 4.

Gambar 4.8 merupakan hasil sistem eksisting rele pengaman arus lebih fasa dari PT. Kaltim Methanol Industri pada tipikal 4 yang terdiri dari rele 3 sebagai pengaman trafo 150-NT03, dan rele 1 sebagai pengaman Main Generator Power. Sistem eksisting dari PT.

Kaltim Methanol Industri memiliki kesalahan dalam koordinasi waktu yang akan mengganggu kontinuitas penyaluran daya.

#### 4.2.1.5. Sistem Eksisting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 5

Untuk sistem eksisting rele pengaman pada tipikal 5 PT. Kaltim Methanol Industri dapat dilihat pada gambar 4.9 single line diagram dibawah ini



**Gambar 4.9** Single line diagram sistem eksisting pada tipikal 5.

- ❖ Setting rele 2 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 11 sebagai pengaman trafo 150-NT01 dengan daya 1600 kVA dapat dilihat pada tabel 4.9 yaitu

*Manufacturer* : GE Multilin  
*Model* : G60  
*FLA* primer trafo 150-NT01 : 140 A  
*Isc* min bus bar 150-NS01 : 4,34 kA  
*CT* : 200/1

**Tabel 4.9** Sistem eksisting rele 2

Overcurrent	
Curve	Definite time
Pickup	0,8
Time Dial	5
Instantaneous	
Pickup	7
Delay (sec)	0,8

- ❖ Setting eksisting rele 1 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 15 sebagai pengaman Main Power Generator dengan daya 6 MW yaitu

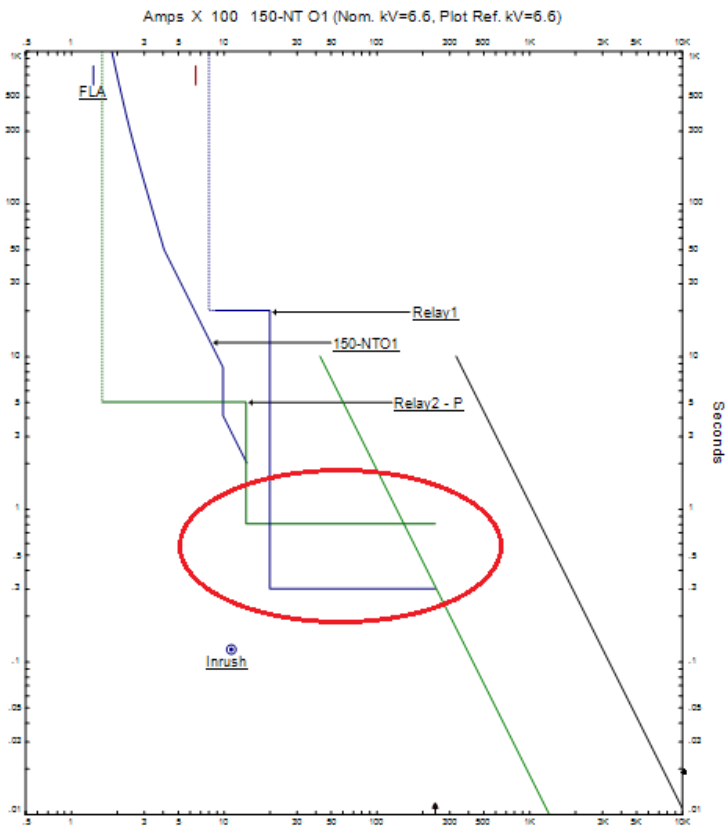
*Manufacturer* : SEG  
*Model* : XI 1-I  
*FLA* generator 070-X01 : 656,1 A  
*Isc* min kontribusi 070-X01 : 4,34 kA  
*CT* : 800/1

**Tabel 4.10** Sistem eksisting rele 1

Overcurrent	
Curve	Definite time
Pickup	1
Time Dial	20

**Lanjutan tabel 4.10** Sistem eksisting rele 1

Instantaneous	
Pickup	2.5
Delay (sec)	0,3



**Gambar 4.10** Sistem eksisting rele pengaman tipikal 5.

Gambar 4.10 merupakan hasil sistem eksisting rele pengaman arus lebih fasa dari PT. Kaltim Methanol Industri pada tipikal 5 yang terdiri dari rele 2 sebagai pengaman trafo 150-NT01, dan rele 1 sebagai pengaman Main Generator Power. Sistem eksisting dari PT. Kaltim Methanol Industri memiliki kesalahan dalam koordinasi waktu yang akan mengganggu kontinuitas penyaluran daya.

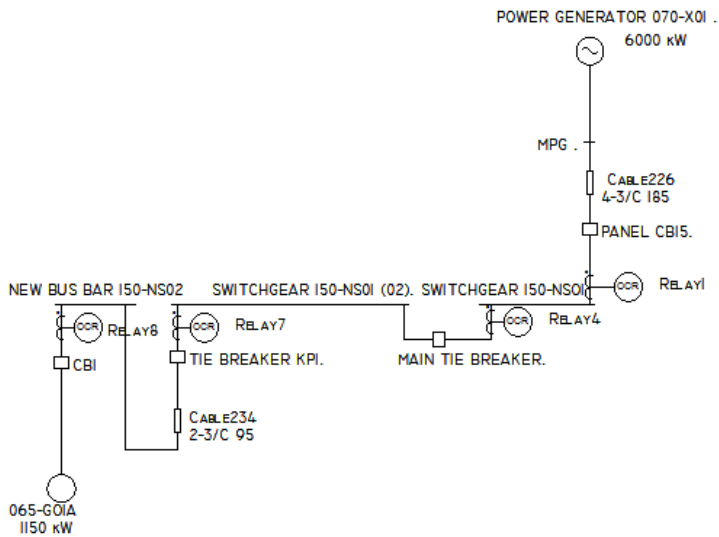
#### **4.2.2. Sistem Resetting Pengaman PT. Kaltim Methanol Industri**

Pada sistem resetting PT. Kaltim Methanol Industri dilakukan setting ulang koordinasi rele pengaman arus lebih fasa disetiap rele pengaman dengan adanya penambahan trafo KDM berdaya 4 MVA pada new bus bar 150-NS02 dan memperbaiki koordinasi waktu agar kontinuitas penyaluran daya berjalan lebih baik dari sistem eksisting yang telah ada.

##### **4.2.2.1 Sistem Resetting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 1**

Untuk sistem kelistrikan resetting rele pengaman pada tipikal 1 PT. Kaltim Methanol Industri dapat dilihat pada gambar 4.11 single line diagram dibawah ini





**Gambar 4.11** Single line diagram sistem resetting pada tipikal 1.

- ❖ Setting resetting rele 8 yang memberikan sinyal trip kepada CB 1 sebagai pengaman motor 065-G01AM dengan daya 1150kW yaitu

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: G60
<i>FLA motor 065-G01 AM</i>	: 129,5A
<i>Isc max new bus bar 150-NS02</i>	: 9,57 kA
<i>Isc min new bus bar 150-NS02</i>	: 8,76 kA
<i>CT</i>	: 150/1

*Time Overcurrent Pickup*

$$1.05 \times \text{FLA motor 065-G01 AM} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA motor 065-G01 AM}$$

$$1.05 \times 129,5 < \text{Iset} < 1,4 \times 129,5$$

$$135,975 < \text{Iset} < 181,3$$

Dipilih Iset = 139,5 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{139,5}{150} = 0,93$$

#### Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,22 s

$$t_d = \frac{80 \times T}{0,808 \times \left( \frac{9570}{0,93 \times 150} \right)^2 - 1}$$

$$T = 10,93$$

#### Instantaneous Pickup

1,6 x FLA motor 065-G01 AM < Iset < 0,8 x Isc Min new bus bar 150-NS02

$$1,6 \times 129,5 < \text{Iset} < 0,8 \times 8760$$

$$207,36 < \text{Iset} < 7008$$

Dipilih Iset = 1500 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{1500}{150} = 10$$

#### Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1s

- ❖ Setting resetting rele 7 yang memberikan sinyal trip kepada CB TIE BREAKER KPI sebagai pengaman New bus bar 150-NS02 yaitu

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: G60
<i>FLA</i> new bus bar 150-NS02	: 409,6A
Isc max bus bar 150-NS01(02)	: 9,56 kA
Isc min bus bar 150-NS01(02)	: 8,75 kA
CT	: 500/1

#### Time Overcurrent Pickup

$1.05 \times \text{FLA new bus bar 150-NS02} < I_{\text{set}} < 1.4 \times \text{new bus bar 150-NS02}$

$1.05 \times 409,6 < I_{\text{set}} < 1.4 \times 409,6$

$430,08 < I_{\text{set}} < 573,44$

Dipilih  $I_{\text{set}} = 450 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{450}{500} = 0,9$$

#### Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,64 s

$$t_d = \frac{80 \times T}{0,808 \times \left(\frac{9560}{0,9 \times 500}\right)^2 - 1}$$

$T = 2,92$

#### Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA new bus bar 150-NS02} < I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc Min bus bar 150-NS01(02)}$

$1,6 \times 409,6 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 8750$

$656,36 < I_{\text{set}} < 7000$

Dipilih  $I_{\text{set}} = 1780 \text{ A}$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{1780}{500} = 3,56$$

#### Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.3s

- ❖ Setting resetting rele 4 yang memberikan sinyal trip kepada CB MAIN TIE BREAKER sebagai pengaman bus bar 150-NS01(02) yaitu

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: G60
<i>FLA new bus bar 150-NS02</i>	: 668,8
<i>Isc max bus bar 150-NS01(02)</i>	: 9,56 kA
<i>Isc min bus bar 150-NS01(02)</i>	: 8,75 kA
<i>CT</i>	: 800/1

#### Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA bus bar 150-NS01(02)} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{new bus bar 150-NS01(02)}$

$1,05 \times 668,8 < \text{Iset} < 1,4 \times 668,8$

$702,24 < \text{Iset} < 936,32$

Dipilih Iset = 816 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{816}{800} = 1,02$$

#### Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 1,2 s

$$t_d = \frac{80 \times T}{0,808 \times \left( \frac{9560}{1,02 \times 800} \right)^2 - 1}$$

$T = 1,7$

#### Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA bus bar 150-NS01(02)} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min bus bar 150-NS01}$

$1,6 \times 668,8 < \text{Iset} < 0,8 \times 8750$

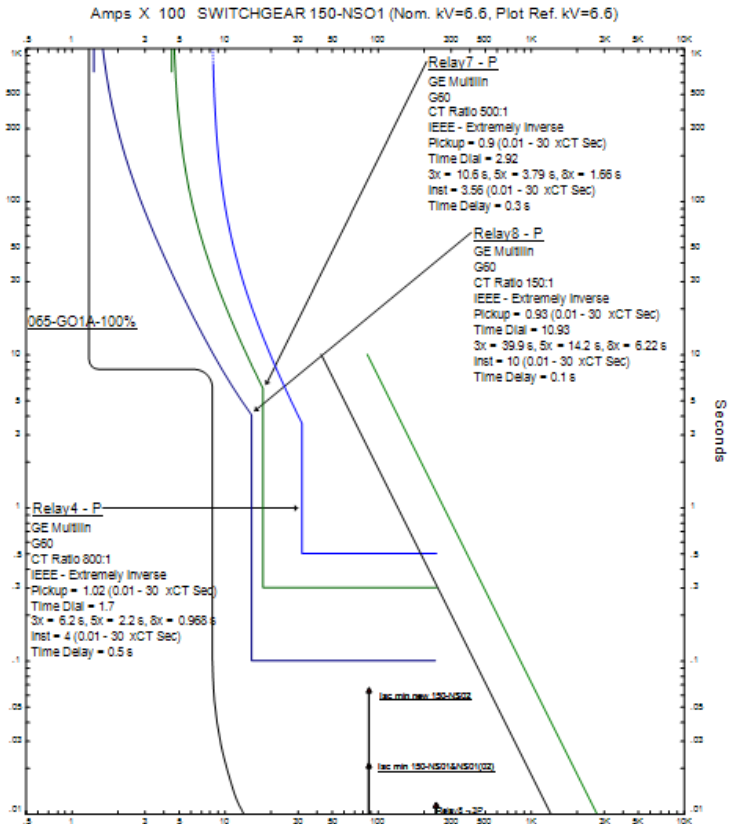
$1070,08 < \text{Iset} < 7000$

Dipilih Iset = 3200 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{3200}{800} = 4$$

### Time Delay

Dipilih  $time\ delay = 0.5s$



**Gambar 4.12** Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 1.

Pada gambar 4.12 dapat dilihat hasil resetting koordinasi rele pengaman arus lebih fasa pada tipikal 1 yang meliputi rele 8 yang memberikan sinyal trip kepada CB 1 sebagai pengaman motor 065-G01AM dengan daya 1150kW, rele 7 yang memberikan sinyal trip kepada CB TIE BREAKER KPI sebagai pengaman New bus bar 150-NS02 dan resetting rele 4 yang memberikan sinyal trip kepada

CB MAIN TIE BREAKER sebagai pengaman bus bar 150-NS01(02).

- ❖ Setting resetting rele 1 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 15 sebagai pengaman Main Power Generator dengan daya 6 MW yaitu

<i>Manufacturer</i>	: SEG
<i>Model</i>	: XI 1-I
<i>FLA 070-X01</i>	: 656,1A
Isc max bus bar 150-NS01	: 9,56 kA
Isc min kontribusi 070-X01	: 4,35 kA
CT	: 800/1

#### Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA 070-X01} < \text{Iset} < 1,4 \times 070\text{-X01}$$

$$1.05 \times 656,1 < \text{Iset} < 1,4 \times 656,1$$

$$688,9 < \text{Iset} < 918,54$$

$$\text{Dipilih Iset} = 880 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{880}{800} = 1,1$$

#### Time Dial

$$\text{Dipilih waktu operasi (t}_d\text{)} = 1,3 \text{ s}$$

$$t_d = \frac{80 \times T}{0,808 \times \left(\frac{9560}{1,1 \times 800}\right)^2 - 1}$$

$$T = 1,54$$

#### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA 070-X01} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min kontribusi 070-X01}$$

$$1,6 \times 656,1 < \text{Iset} < 0,8 \times 4350$$

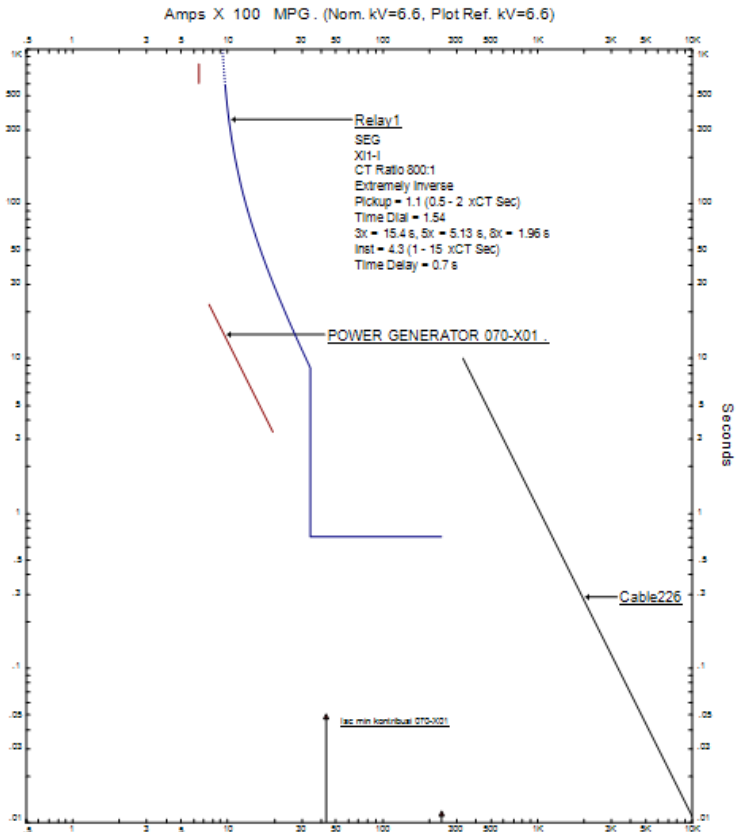
$$1049,76 < \text{Iset} < 7000$$

$$\text{Dipilih Iset} = 3440 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primary}} = \frac{3440}{800} = 4,3$$

### Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.7s



**Gambar 4.13** Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 1 pada Generator 070-X01.

#### 4.2.2.2 Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 2

The diagram shows the power system for the 150-MVA generator. At the top, the 'POWER GENERATOR 070-X01' is represented by a circle with a tilde symbol, rated at '6000 kW'. A vertical line descends from the generator, passing through a 'MPG' (metering point) and a 'CABLE226 4-3/C 185'. This line then splits into two branches. The left branch goes through 'PANEL CBI5' and 'RELAY1' to 'SWITCHGEAR 150-NS01'. The right branch goes through 'RELAY4' to the 'MAIN TIE BREAKER'. The 'MAIN TIE BREAKER' is connected to 'SWITCHGEAR 150-NS01' and 'CABLE234 2-3/C 95'. 'CABLE234' leads to 'TIE BREAKER KPI', which is connected to 'SWITCHGEAR 150-NS01' and 'RELAY7'. 'SWITCHGEAR 150-NS01' is also connected to 'NEW BUS BAR 150-NS02'. 'NEW BUS BAR 150-NS02' is connected to 'PANEL CBI2' and 'RELAY9'. 'PANEL CBI2' is connected to 'CABLE9 1-3/C 95', which leads to the '150-NT02 1600 kVA' transformer at the bottom.

54



- ❖ Setting resetting rele 9 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 12 sebagai pengaman trafo 150-NT02 dengan daya 1600kVA yaitu

*Manufacturer* : GE Multilin  
*Model* : G60  
*FLA* primer trafo 150-NT02 : 140A  
*Isc* max new bus bar 150-NS02 : 9,57 kA  
*Isc* min new bus bar 150-NS02 : 8,76 kA  
*CT* : 200/1

#### Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA primer trafo 150-NT02} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA primer trafo 150-NT02}$

$1,05 \times 140 < \text{Iset} < 1,4 \times 140$

$147 < \text{Iset} < 196$

Dipilih Iset = 158 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{158}{200} = 0,79$$

#### Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,09 s

$$t_d = \frac{13,5 \times T}{1,5 \times \left( \frac{9570}{0,79 \times 200} \right)^1 - 1}$$

T = 0,6

#### Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA primer trafo 150-NT02} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min new bus bar 150-NS02}$

$1,6 \times 140 < \text{Iset} < 0,8 \times 8760$

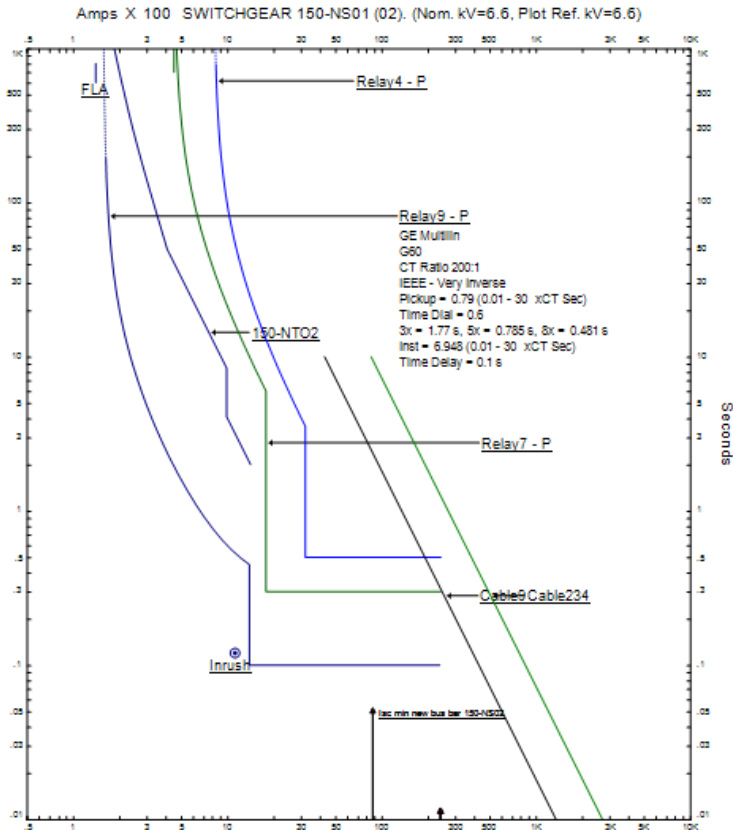
$224 < \text{Iset} < 7008$

Dipilih Iset = 1390 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{1390}{200} = 6,948$$

### Time Delay

Dipilih  $time\ delay = 0.1\ s$



**Gambar 4.15** Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 2.

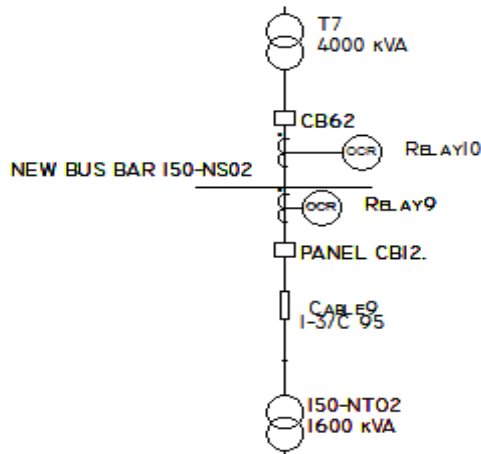
Pada gambar 4.15 dapat dilihat hasil resetting koordinasi rele pengaman arus lebih fasa pada tipikal 2 yang meliputi rele 9 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 12 sebagai pengaman trafo 150-NT02 dengan daya 1600kVA, rele 7 yang memberikan sinyal trip kepada CB TIE BREAKER KPI sebagai pengaman New bus bar 150-NS02 dan resetting rele 4 yang memberikan sinyal trip

kepada CB MAIN TIE BREAKER sebagai pengaman bus bar 150-NS01(02).

- ❖ Untuk perhitungan resetting rele 7 yang memberikan sinyal trip kepada CB TIE BREAKER KPI sebagai pengaman New bus bar 150-NS02, resetting rele 4 yang memberikan sinyal trip kepada CB MAIN TIE BREAKER sebagai pengaman bus bar 150-NS01(02) dan rele 1 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 15 sebagai pengaman Main Power Generator dengan daya 6 MW telah dilakukan pada resetting tipikal 1.

#### 4.2.2.3. Sistem Resetting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 2A

Untuk sistem kelistrikan resetting rele pengaman pada tipikal 2A PT. Kaltim Methanol Industri akibat penambahan trafo KDM T7 berdaya 4 MVA dapat dilihat pada gambar 4.16 single line diagram dibawah ini



**Gambar 4.16** Single line diagram sistem resetting pada tipikal 2A.

- ❖ Untuk perhitungan resetting rele 9 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 12 sebagai pengaman trafo 150-NT02 dengan daya 1600kVA telah dilakukan pada resetting tipikal 2.

- ❖ Setting resetting rele 10 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 62 sebagai pengaman trafo T7 dengan daya 4000kVA yaitu

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: Sepam 1000
<i>FLA</i> sekunder T7	: 349,9A
Isc max new bus bar 150-NS02	: 9,57 kA
Isc min kontribusi T7	: 4,45 kA
CT	: 400/1

#### Time Overcurrent Pickup

$$1.05 \times \text{FLA sekunder trafo T7} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA sekunder trafo T7}$$

$$1.05 \times 349,9 < \text{Iset} < 1,4 \times 349,9$$

$$367,39 < \text{Iset} < 489,86$$

$$\text{Dipilih Iset} = 372 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{372}{400} = 0,93$$

#### Time Dial

$$\text{Dipilih waktu operasi (t}_d\text{)} = 0,25\text{s}$$

$$t_d = \frac{80 \times T}{0,808 \times \left( \frac{9570}{0,93 \times 400} \right)^2 - 1}$$

$$T = 1,67$$

#### Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA sekunder trafo T7} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min kontribusi T7}$$

$$1,6 \times 349,9 < \text{Iset} < 0,8 \times 4450$$

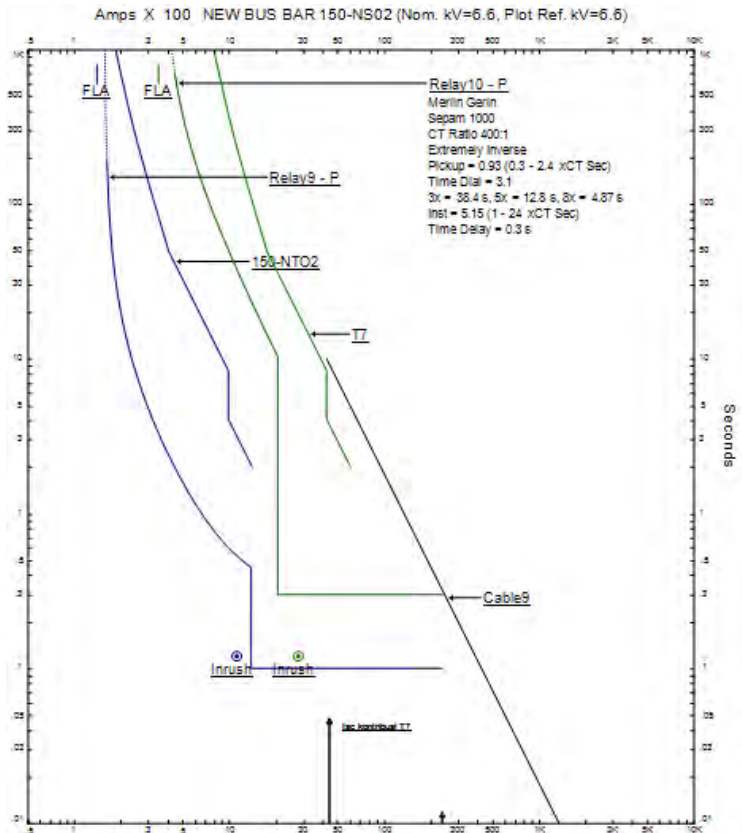
$$559,84 < \text{Iset} < 3560$$

$$\text{Dipilih Iset} = 2060 \text{ A}$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{2060}{400} = 5,15$$

### Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.3s

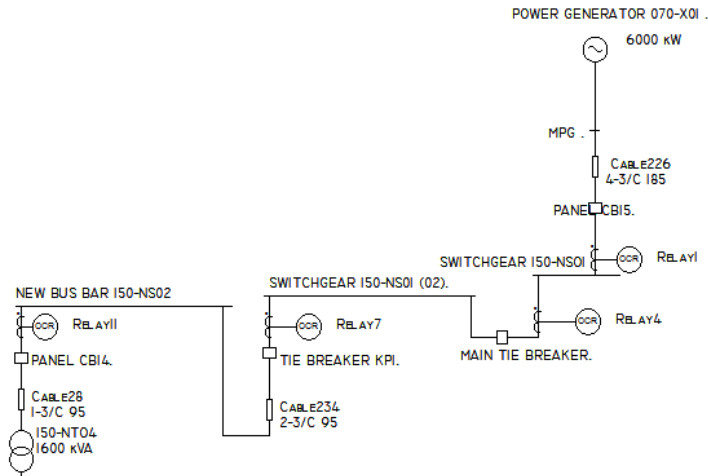


**Gambar 4.17** Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 2A.

Pada gambar 4.17 dapat dilihat hasil resetting koordinasi rele pengaman arus lebih fasa pada tipikal 2A yang meliputi rele 9 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 12 sebagai pengaman trafo 150-NT02 dengan daya 1600kVA dan rele 10 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 62 sebagai pengaman trafo T7 dengan daya 4000kVA

#### 4.2.2.4. Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 3

Untuk sistem kelistrikan resetting rele pengaman pada tipikal 3 PT. Kaltim Methanol Industri dapat dilihat pada gambar 4.18 single line diagram dibawah ini



**Gambar 4.18** Single line diagram sistem resetting pada tipikal 3.

- ❖ Setting resetting rele 9 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 12 sebagai pengaman trafo 150-NT04 dengan daya 1600kVA yaitu

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: G60
<i>FLA primer trafo 150-NT04</i>	: 140A
<i>Isc max new bus bar 150-NS02</i>	: 9,57 kA
<i>Isc min new bus bar 150-NS02</i>	: 8,76 kA
<i>CT</i>	: 200/1

#### Time Overcurrent Pickup

$1.05 \times \text{FLA primer trafo 150-NT04} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA primer trafo 150-NT04}$

$$1.05 \times 140 < I_{set} < 1.4 \times 140$$

$$147 < I_{set} < 196$$

Dipilih  $I_{set} = 158 \text{ A}$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{158}{200} = 0.79$$

#### Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0.09 s

$$t_d = \frac{13.5 \times T}{1.5 \times \left( \frac{9570}{0.79 \times 200} \right)^1 - 1}$$

$$T = 0.6$$

#### Instantaneous Pickup

$1.6 \times FLA \text{ primer trafo } 150\text{-NT04} < I_{set} < 0.8 \times I_{sc} \text{ Min new bus bar } 150\text{-NS02}$

$$1.6 \times 140 < I_{set} < 0.8 \times 8760$$

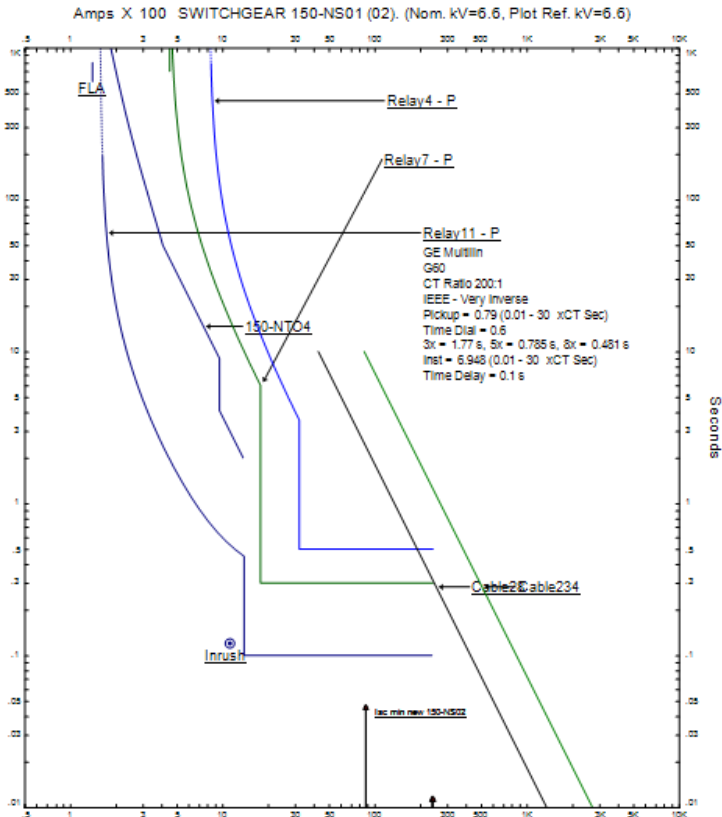
$$224 < I_{set} < 7008$$

Dipilih  $I_{set} = 1390 \text{ A}$

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{1390}{200} = 6.948$$

#### Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1s



**Gambar 4.19** Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 3.

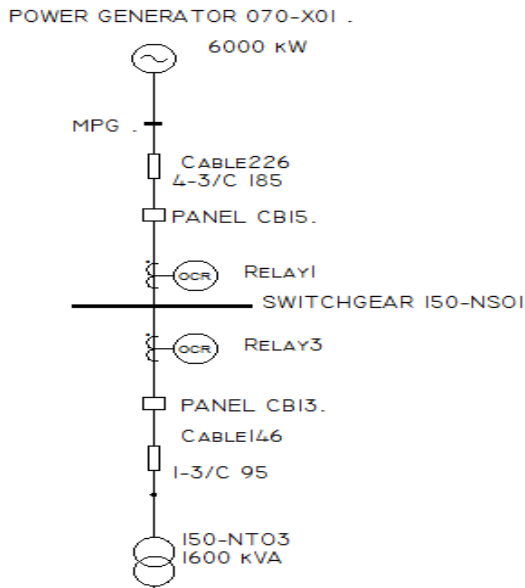
Pada gambar 4.19 dapat dilihat hasil resetting koordinasi rele pengaman arus lebih fasa pada tipikal 3 yang meliputi rele 11 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 14 sebagai pengaman trafo 150-NT04 dengan daya 1600kVA, rele 7 yang memberikan sinyal trip kepada CB TIE BREAKER KPI sebagai pengaman New bus bar 150-NS02 dan resetting rele 4 yang memberikan sinyal trip kepada CB MAIN TIE BREAKER sebagai pengaman bus bar 150-NS01(02).



- ❖ Untuk perhitungan resetting rele 7 yang memberikan sinyal trip kepada CB TIE BREAKER KPI sebagai pengaman New bus bar 150-NS02, resetting rele 4 yang memberikan sinyal trip kepada CB MAIN TIE BREAKER sebagai pengaman bus bar 150-NS01(02) dan rele 1 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 15 sebagai pengaman Main Power Generator dengan daya 6 MW telah dilakukan pada resetting tipikal 1.

#### 4.2.2.5. Sistem Reseting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 4

Untuk sistem kelistrikan resetting rele pengaman pada tipikal 4 PT. Kaltim Methanol Industri dapat dilihat pada gambar 4.20 single line diagram dibawah ini



**Gambar 4.20** Single line diagram sistem resetting pada tipikal 4.

- ❖ Setting resetting rele 3 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 13 sebagai pengaman trafo 150-NT03 dengan daya 1600kVA yaitu

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: G60
<i>FLA primer trafo 150-NT03</i>	: 140A
<i>Isc max bus bar 150-NS01</i>	: 9,56 kA
<i>Isc min bus bar 150-NS01</i>	: 8,75 kA
<i>CT</i>	: 200/1

#### Time Overcurrent Pickup

$1.05 \times \text{FLA primer trafo 150-NT03} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA primer trafo 150-NT03}$

$1.05 \times 140 < \text{Iset} < 1,4 \times 140$

$147 < \text{Iset} < 196$

Dipilih Iset = 158 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{158}{200} = 0,79$$

#### Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,09 s

$$t_d = \frac{13,5 \times T}{1,5 \times \left( \frac{9560}{0,79 \times 200} \right)^1 - 1}$$

T = 0,6

#### Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA primer trafo 150-NT03} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min new bus bar 150-NS02}$

$1,6 \times 140 < \text{Iset} < 0,8 \times 8750$

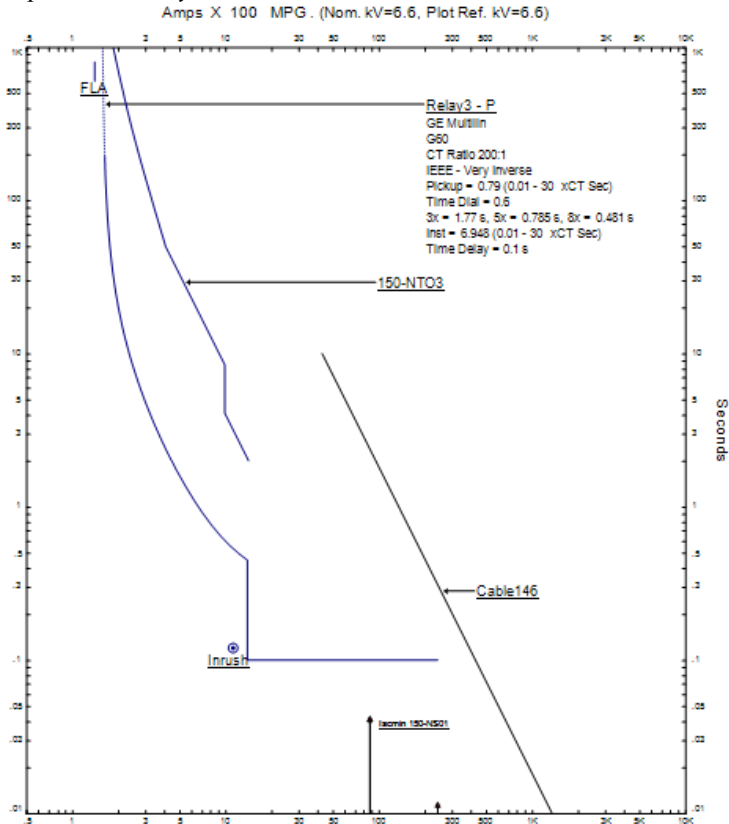
$224 < \text{Iset} < 7000$

Dipilih Iset = 1390 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{1390}{200} = 6,948$$

### Time Delay

Dipilih  $time\ delay = 0.1\ s$



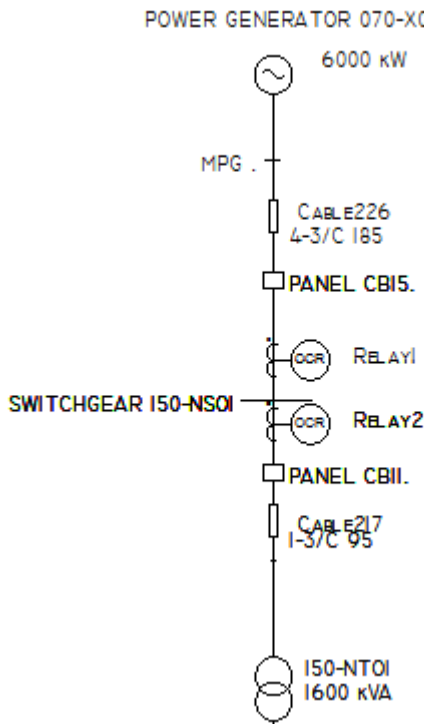
**Gambar 4.21** Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 4.

Pada gambar 4.21 dapat dilihat hasil resetting koordinasi rele pengaman arus lebih fasa pada tipikal 4 yang meliputi rele 3 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 13 sebagai pengaman trafo 150-NT03 dengan daya 1600kVA.

- ❖ Untuk perhitungan resetting rele 1 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 15 sebagai pengaman Main Power Generator dengan daya 6 MW telah dilakukan pada resetting tipikal 1.

#### 4.2.2.5. Sistem Resetting Koordinasi Rele Pengaman Arus Lebih Fasa Tipikal 5

Untuk sistem kelistrikan resetting rele pengaman pada tipikal 4 PT. Kaltim Methanol Industri dapat dilihat pada gambar 4.22 single line diagram dibawah ini



**Gambar 4.22** Single line diagram sistem resetting pada tipikal 5.

- ❖ Setting resetting rele 2 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 11 sebagai pengaman trafo 150-NT01 dengan daya 1600kVA yaitu

<i>Manufacturer</i>	: GE Multilin
<i>Model</i>	: G60
<i>FLA primer trafo 150-NT01</i>	: 140A
<i>Isc max bus bar 150-NS01</i>	: 9,56 kA
<i>Isc min bus bar 150-NS01</i>	: 8,75 kA
<i>CT</i>	: 200/1

#### Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA primer trafo 150-NT01} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA primer trafo 150-NT01}$

$1,05 \times 140 < \text{Iset} < 1,4 \times 140$

$147 < \text{Iset} < 196$

Dipilih Iset = 158 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{158}{200} = 0,79$$

#### Time Dial

Dipilih waktu operasi ( $t_d$ ) = 0,09 s

$$t_d = \frac{13,5 \times T}{1,5 \times \left( \frac{9560}{0,79 \times 200} \right)^1 - 1}$$

$T = 0,6$

#### Instantaneous Pickup

$1,6 \times \text{FLA primer trafo 150-NT01} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc Min new bus bar 150-NS02}$

$1,6 \times 140 < \text{Iset} < 0,8 \times 8750$

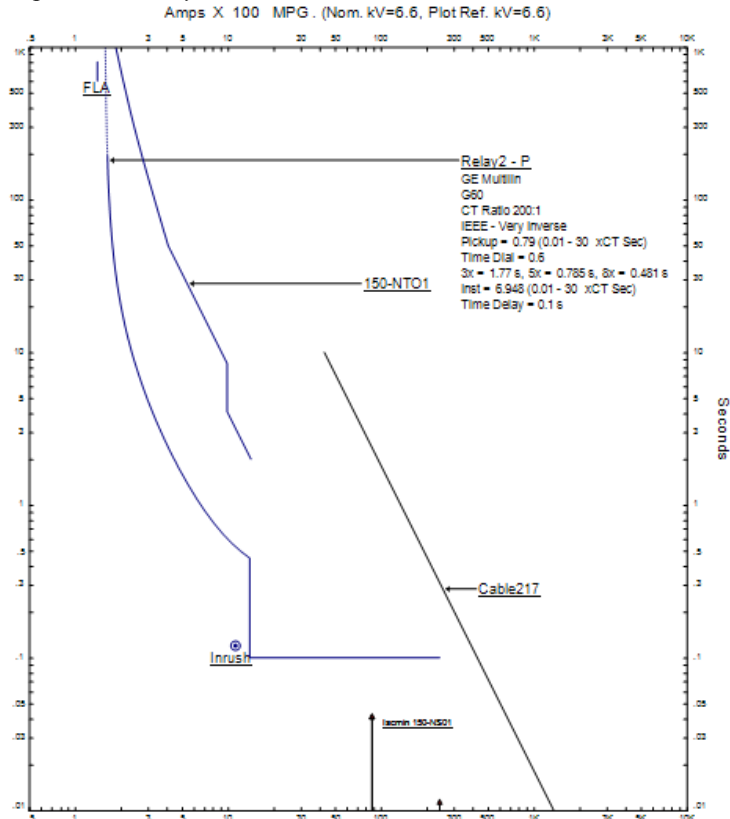
$224 < \text{Iset} < 7000$

Dipilih Iset = 1390 A

$$\text{Tap} = \frac{\text{Iset}}{\text{CT primary}} = \frac{1390}{200} = 6,948$$

Dipilih  $time\ delay = 0.1s$

Dipilih  $time\ delay = 0.1s$



**Gambar 4.23** Hasil sistem resetting rele pengaman tipikal 5.

Pada gambar 4.23 dapat dilihat hasil resetting koordinasi rele pengaman arus lebih fasa pada tipikal 5 yang meliputi rele 2 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 11 sebagai pengaman trafo 150-NT01 dengan daya 1600kVA.

- ❖ Untuk perhitungan resetting rele 1 yang memberikan sinyal trip kepada panel CB 15 sebagai pengaman Main Power Generator dengan daya 6 MW telah dilakukan pada resetting tipikal 1.

### 4.3. Hasil Simulasi Incident Energi Arc Flash

Dengan dilakukannya simulasi menggunakan software ETAP maka didapatkan nilai incident energy arc flash dan category incident yang terjadi yang akan disesuaikan dengan Personal Protective Equipment (PPE) sesuai dengan standart NFPA 70E-2009.

#### 4.3.1. Hasil Simulasi Energi Arc Flash pada Sistem Eksisting

Untuk hasil simulasi insiden energi busur api dari sistem eksisting sebelum penambahan trafo KDM yang berdaya 4 MVA dapat dilihat pada tabel 4.11 dibawah ini

**Tabel 4.11** Hasil simulasi insiden energi sistem eksisting pada software ETAP.

Bus Bar ID	Ibf (kA)	Ia (kA)	E (cal/cm2)	Category
150-NS01	10,21	9,906	6,61	2
150-NS(02)	10,21	9,906	6,61	2
NEW 150 NS-02	10,21	9,906	6,53	2

Dengan hasil simulasi yang telah dilakukan sebelum penambahan trafo KDM berdaya 4 MVA energi busur api yang ditimbulkan pada sistem eksisting tergolong kecil pada kategori 2 karena hanya memiliki 1 sumber listrik yaitu dari Main Power Generator yang berdaya 6 MW dan terdapat kesalahan koordinasi waktu proteksi yang dapat mengganggu kontinuitas penyaluran daya.

#### 4.3.2. Hasil Simulasi Energi Arc Flash pada Sistem Resetting

Untuk hasil simulasi energi busur api dari sistem resetting setelah penambahan trafo KDM yang berdaya 4 MVA dapat dilihat pada tabel 4.12 dibawah ini

**Tabel 4.12** Hasil simulasi insiden energi sistem resetting pada software ETAP.

Bus Bar ID	Ibf (kA)	Ia (kA)	E (cal/cm2)	Category
150-NS01	15,51	14,94	20,60	3
150-NS(02)	15,51	14,94	15,45	3
NEW 150 NS-02	15,47	14,9	10,27	3

Dengan hasil simulasi yang telah dilakukan setelah penambahan trafo KDM berdaya 4 MVA energi busur api yang ditimbulkan pada sistem resetting akan semakin besar dikarenakan arus hubung singkat paling besar disuplai oleh 2 sumber yaitu Main Power Generator yang berdaya 6MW dan Trafo KDM yang berdaya 4MVA. Dan pada resetting ini telah dikoordinasi ulang setting arus dan waktu sehingga kontinuitas penyaluran daya akan semakin baik.

#### **4.4. Perhitungan Incident Energi Arc Flash sesuai Standart IEEE 1584-2002[1]**

Setelah melakukan simulasi dengan software ETAP maka dilakukan perhitungan manual sesuai dengan standart IEEE 1584-2002 guna mencocokkan hasil simulasi dengan perhitungan secara manual. Perhitungan di bawah ini adalah menyesuaikan antara sistem yang telah ada atau *existing* dengan standar IEEE 1584- 2002. Dilakukan dengan melakukan perubahan besar nilai *gap* = 153 mm dan *working distance* = 914,4 mm agar sesuai dengan besaran yang telah ditetapkan oleh standar.

##### **4.4.1. Perhitungan Incident Energi Arc Flash sesuai Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Eksisting[1]**

Perhitungan secara manual pada sistem eksisting sesuai dengan standart IEEE 1584-2002 dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini



❖ Switchgear 150-NS01

$$I_{bf} 150-NS01 = 10,21 \text{ kA} ;$$

$$FCT 150-NS01 = t \text{ sensing rele } 1 + t \text{ trip CB PANEL } 15$$

$$FCT 140-NS01 = 0,3 + 0,1 = 0,4 \text{ s}$$

$$I_a = 1,01 I_{bf}^{0,983}$$

$$I_a = 1,01 \times 10,21^{0,983}$$

$$I_a = 9,91 \text{ kA}$$

$$E_n = I_a^{1,081} \times 10^{(k1+k2+0,0011G)}$$

$$E_n = 9,91^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011.153)}$$

$$E_n = 4,898 \text{ J/cm}^2$$

$$E = C_f \times E_n \times (t/0,2) \times (610/D)^x$$

$$E = 1 \times 4,898 \times (0,4/0,2) \times (610/914,4)^{0,973}$$

$$E = 6,606 \text{ cal/cm}^2$$

❖ Switchgear 150-NS01 (02)

$$I_{bf} 150-NS01(02) = 10,21 \text{ kA} ;$$

$$FCT 150-NS01(02) = t \text{ sensing rele } 1 + t \text{ trip CB PANEL } 15$$

$$FCT 140-NS01(02) = 0,3 + 0,1 = 0,4 \text{ s}$$

$$I_a = 1,01 I_{bf}^{0,983}$$

$$I_a = 1,01 \times 10,21^{0,983}$$

$$I_a = 9,91 \text{ kA}$$

$$En = Ia^{1,081} \times 10^{(k1+k2+0,0011G)}$$

$$En = 9,91^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011.153)}$$

$$En = 4,898 \text{ J/cm}^2$$

$$E = Cf \times En \times (t/0,2) \times (610/D)^x$$

$$E = 1 \times 4,989 \times (0,4/0,2) \times (610/914,4)^{0,973}$$

$$E = 6,606 \text{ cal/cm}^2$$

❖ Switchgear new 150-NS02

Ibf 150-NS01= 10,1 kA ;

FCT 150-NS01 = t sensing rele 1 + t trip CB PANEL 15

FCT 140-NS01 = 0,3 + 0,1 = 0,4 s

$$Ia = 1,01 \text{ Ibf}^{0,983}$$

$$Ia = 1,01 \times 10,1^{0,983}$$

$$Ia = 9,80 \text{ kA}$$

$$En = Ia^{1,081} \times 10^{(k1+k2+0,0011G)}$$

$$En = 9,80^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011.153)}$$

$$En = 4,83 \text{ J/cm}^2$$

$$E = Cf \times En \times (t/0,2) \times (610/D)^x$$

$$E = 1 \times 4,83 \times (0,4/0,2) \times (610/914,4)^{0,973}$$

$$E = 6,51 \text{ cal/cm}^2$$

Tabel 4.13 dibawah ini menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi sistem eksisting dengan hasil perhitungan manual yang dapat dilihat dibawah ini

**Tabel 4.13** Hasil insiden energi dari simulasi sistem eksisting dengan perhitungan.

Bus Bar ID	E simulasi (cal/cm <sup>2</sup> )	E perhitungan (cal/cm <sup>2</sup> )
150-NS01	6,61	6,606
150-NS(02)	6,61	6,606
NEW 150 NS-02	6,53	6,51

#### 4.4.2. Perhitungan Incident Energi Arc Flash sesuai Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Resetting[1]

Perhitungan secara manual pada sistem resetting sesuai dengan standart IEEE 1584-2002 dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini

❖ Switchgear 150-NS01

$$I_{bf} = 15,51 \text{ kA ;}$$

$$FCT = t \text{ sensing rele } 1 + t \text{ trip CB PANEL } 15$$

$$FCT = 0,7 + 0,1 = 0,8 \text{ s}$$

$$I_a = 1,01 I_{bf}^{0,983}$$

$$I_a = 1,01 \times 15,51^{0,983}$$

$$I_a = 14,95 \text{ kA}$$

$$E_n = I_a^{1,081} \times 10^{(k1+k2+0,0011G)}$$

$$E_n = 14,95^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011.153)}$$

$$E_n = 7,639 \text{ J/cm}^2$$

$$E = C_f \times E_n \times (t/0,2) \times (610/D)^x$$

$$E = 1 \times 7,639 \times (0,8/0,2) \times (610/914,4)^{0,973}$$

$$E = 20,60 \text{ cal/cm}^2$$

❖ Switchgear 150-NS01 (02)

$$I_{bf} = 15,51 \text{ kA ;}$$

FCT = t sensing rele 7 + t trip CB MAIN TIE BREAKER

$$FCT = 0,5 + 0,1 = 0,6 \text{ s}$$

$$I_a = 1,01 I_{bf}^{0,983}$$

$$I_a = 1,01 \times 15,51^{0,983}$$

$$I_a = 14,95 \text{ kA}$$

$$E_n = I_a^{1,081} \times 10^{(k1+k2+0,0011G)}$$

$$E_n = 14,95^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011.153)}$$

$$E_n = 7,639 \text{ J/cm}^2$$

$$E = C_f \times E_n \times (t/0,2) \times (610/D)^x$$

$$E = 1 \times 7,639 \times (0,6/0,2) \times (610/914,4)^{0,973}$$

$$E = 15,45 \text{ cal/cm}^2$$

❖ Switchgear new 150-NS02

$$I_{bf} = 15,47 \text{ kA ;}$$

FCT = t sensing rele 7 + t trip CB tie breaker kpi

$$FCT = 0,3 + 0,1 = 0,4 \text{ s}$$

$$I_a = 1,01 \text{ Ib} f^{0,983}$$

$$I_a = 1,01 \times 15,51^{0,983}$$

$$I_a = 14,91 \text{ kA}$$

$$E_n = I_a^{1,081} \times 10^{(k_1+k_2+0,0011G)}$$

$$E_n = 14,91^{1,081} \times 10^{(-0,555+0+0,0011.153)}$$

$$E_n = 7,614 \text{ J/cm}^2$$

$$E = C_f \times E_n \times (t/0,2) \times (610/D)^x$$

$$E = 1 \times 7,614 \times (0,4/0,2) \times (610/914,4)^{0,973}$$

$$E = 10,27 \text{ cal/cm}^2$$

Tabel 4.14 dibawah ini menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi sistem reseting dengan hasil perhitungan manual yang dapat dilihat dibawah ini

**Tabel 4.14** Hasil insiden energi dari simulasi sistem reseting dengan perhitungan.

Bus Bar ID	E simulasi (cal/cm2)	E perhitungan (cal/cm2)
150-NS01	20,60	20,60
150-NS(02)	15,45	15,45
NEW 150 NS-02	10,27	10,27

#### 4.5. Perhitungan Incident Energi Arc Flash dengan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002[2]

Pada perhitungan modifikasi ini dilakukan perhitungan insiden energi busur api sesuai dengan besar arus gangguan 3 fasa ke tanah pada fungsi waktu yang akan menghasilkan energi yang berbeda-beda disetiap fungsi waktunya. Pada perhitungan busur api di bawah

ini digunakan pendekatan jarak batas aman yang telah ditentukan berdasarkan standar IEEE 1584-2002. Dengan jarak antar konduktor / *gap* pada *switchgear* sebesar 153 mm dan batas dengan pekerja (*working distance*) sejauh 914,4 mm.

#### 4.5.1. Perhitungan Incident Energi Arc Flash dengan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Eksisting[2]

Untuk perhitungan modifikasi pada sistem eksisting sebelum penambahan trafo KDM berdaya 4 MVA dapat dilihat dibawah ini

❖ Switchgear 150-NS01

$$FCT \text{ t CB PANEL 15} = 0,4 \text{ s}$$

$$I_{bf} \text{ saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 10,21 \text{ kA}$$

$$I_{bf} \text{ saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 8,66 \text{ kA}$$

$$I_{bf} \text{ saat 0,6-0,4 s (4 cycle-FCT } t_{cb \text{ panel 15}}) = 4,66 \text{ kA}$$

$$E \text{ saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times I_{bf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times 10,21^{1,063} \times 0,03$$

$$E \text{ saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 0,49 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times I_{bf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times 8,66^{1,063} \times 0,05$$

$$E \text{ saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 0,68 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat 80 ms-0,4 s (4 cycle-FCT } t_{cb \text{ panel 15}}) = 1,39 \times I_{bf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat 80 ms-0,4 s (4 cycle-FCT } t_{cb \text{ panel 15}}) = 1,39 \times 4,66^{1,063} \times 0,32$$

$$E \text{ saat } 80 \text{ ms-}0,4 \text{ s (4 cycle-FCT } t_{\text{cb panel 15}}) = 2,28 \text{ cal/cm}^2$$

$$E_{\text{total}} = E \text{ saat } 0\text{-}30 \text{ ms} + E \text{ saat } 30\text{-}80 \text{ ms} + E \text{ saat } 80\text{ms-}0,4 \text{ s}$$

$$E_{\text{total}} = 0,49 + 0,68 + 2,28$$

$$E_{\text{total}} = 3,45 \text{ cal/cm}^2$$

❖ Switchgear 150-NS01(02)

$$\text{FCT } t \text{ CB PANEL 15} = 0,4 \text{ s ;}$$

$$\text{Ibf saat } 0\text{-}30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 10,21 \text{ kA}$$

$$\text{Ibf saat } 30\text{-}80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 8,66 \text{ kA}$$

$$\text{Ibf saat } 80\text{ms-}0,4 \text{ s (4 cycle- FCT } t_{\text{cb panel 15}}) = 4,66 \text{ kA}$$

$$E \text{ saat } 0\text{-}30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat } 0\text{-}30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times 10,21^{1,063} \times 0,03$$

$$E \text{ saat } 0\text{-}30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 0,49 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat } 30\text{-}80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat } 30\text{-}80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times 8,66^{1,063} \times 0,05$$

$$E \text{ saat } 30\text{-}80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 0,68 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat } 80\text{ms-}0,4 \text{ s (4 cycle- FCT } t_{\text{cb panel 15}}) = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat } 80\text{ms-}0,4 \text{ s (4 cycle- FCT } t_{\text{cb panel 15}}) = 1,39 \times 4,66^{1,063} \times 0,32$$

$$E \text{ saat } 80\text{ms-}0,4 \text{ s (4 cycle- FCT } t_{\text{cb panel 15}}) = 2,28 \text{ cal/cm}^2$$

$$E_{\text{total}} = E \text{ saat } 0\text{-}30 \text{ ms} + E \text{ saat } 30\text{-}80 \text{ ms} + E \text{ saat } 80\text{ms-}0,4 \text{ s}$$

$$E_{\text{total}} = 0,49 + 0,68 + 2,28$$

$$E_{\text{total}} = 3,45 \text{ cal/cm}^2$$

❖ Switchgear new 150-NS02

$$\text{FCT } t_{\text{CB PANEL 15}} = 0,4 \text{ s ;}$$

$$\text{Ibf saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 10,1 \text{ kA}$$

$$\text{Ibf saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 8,58 \text{ kA}$$

$$\text{Ibf saat 80ms-0,4 s (4 cycle- FCT } t_{\text{cb panel 15}}) = 4,63 \text{ kA}$$

$$E \text{ saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times 10,1^{1,063} \times 0,03$$

$$E \text{ saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 0,48 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times 8,58^{1,063} \times 0,05$$

$$E \text{ saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 0,68 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat 80ms-0,4 s (4 cycle- FCT } t_{\text{cb panel 15}}) = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat 80ms-0,4 s (4 cycle- FCT } t_{\text{cb panel 15}}) = 1,39 \times 4,63^{1,063} \times 0,32$$

$$E \text{ saat 80ms-0,4 s (4 cycle- FCT } t_{\text{cb panel 15}}) = 2,26 \text{ cal/cm}^2$$

$$E_{\text{total}} = E \text{ saat 0-30 ms} + E \text{ saat 30-80 ms} + E \text{ saat 80ms-0,4 s}$$

$$E_{\text{total}} = 0,48 + 0,68 + 2,26$$

$$E_{\text{total}} = 3,42 \text{ cal/cm}^2$$



#### 4.5.2. Perhitungan Incident Energi Arc Flash dengan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Resetting[2]

Untuk perhitungan modifikasi pada sistem resetting sesudah penambahan trafo KDM berdaya 4 MVA dapat dilihat dibawah ini

❖ Switchgear 150-NS01

$$FCT \text{ t CB PANEL 15} = 0,8 \text{ s}$$

$$I_{bf} \text{ saat } 0-30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 15,51 \text{ kA}$$

$$I_{bf} \text{ saat } 30-80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 13,88 \text{ kA}$$

$$I_{bf} \text{ saat } 80\text{ms}-0,6 \text{ s (4-30 cycle)} = 9,56 \text{ kA}$$

$$I_{bf} \text{ saat } 0,6-0,8 \text{ s (30 cycle-FCT } t_{cb \text{ panel 15}}) = 9,56 \text{ kA}$$

$$E \text{ saat } 0-30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times I_{bf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat } 0-30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times 15,51^{1,063} \times 0,03$$

$$E \text{ saat } 0-30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 0,76 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat } 30-80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times I_{bf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat } 30-80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times 13,88^{1,063} \times 0,05$$

$$E \text{ saat } 30-80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 1,13 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat } 80\text{ms}-0,6 \text{ s (4-30 cycle)} = 1,39 \times I_{bf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat } 80\text{ms}-0,6 \text{ s (4-30 cycle)} = 1,39 \times 9,56^{1,063} \times 0,52$$

$$E \text{ saat } 80\text{ms}-0,6 \text{ s (4-30 cycle)} = 7,9 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat } 0,6-0,8 \text{ s (30 cycle-FCT } t_{cb \text{ panel 15}}) = 1,39 \times I_{bf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat } 0,6-0,8 \text{ s (30 cycle-FCT } t_{cb \text{ panel 15}}) = 1,39 \times 9,56^{1,063} \times 0,2$$

$$E \text{ saat } 0,6-0,8 \text{ s (30 cycle-FCT } t_{cb \text{ panel 15}}) = 3,06 \text{ cal/cm}^2$$

$$E_{\text{total}} = E \text{ saat } 0-30 \text{ ms} + E \text{ saat } 30-80 \text{ ms} + E \text{ saat } 80\text{ms}-0,6 \text{ s} + E \text{ saat } 0,6-0,8 \text{ s}$$

$$E_{\text{total}} = 0,76 + 1,13 + 7,9 + 3,06$$

$$E_{\text{total}} = 12,85 \text{ cal/cm}^2$$

❖ Switchgear 150-NS01(02)

$$\text{FCT } t \text{ CB MAIN TIE BREAKER} = 0,6 \text{ s} ;$$

$$\text{Ibf saat } 0-30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 15,51 \text{ kA}$$

$$\text{Ibf saat } 30-80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 13,88 \text{ kA}$$

$$\text{Ibf saat } 80\text{ms}-0,6 \text{ s (4 cycle-FCT } t_{cb \text{ tie breaker kpi}}) = 9,56 \text{ kA}$$

$$E \text{ saat } 0-30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat } 0-30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times 15,51^{1,063} \times 0,03$$

$$E \text{ saat } 0-30 \text{ ms (0-1,5 cycle)} = 0,76 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat } 30-80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat } 30-80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times 13,88^{1,063} \times 0,05$$

$$E \text{ saat } 30-80 \text{ ms (1,5-4 cycle)} = 1,13 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat } 80\text{ms}-0,6 \text{ s (4 cycle-FCT } t_{cb \text{ tie breaker kpi}}) = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat } 80\text{ms}-0,6 \text{ s (4 cycle-FCT } t_{cb \text{ tie breaker kpi}}) = 1,39 \times 9,56^{1,063} \times 0,52$$

$$E \text{ saat } 80\text{ms}-0,6 \text{ s (4 cycle-FCT } t_{cb \text{ breaker kpi}}) = 7,96 \text{ cal/cm}^2$$

$$E_{\text{total}} = E \text{ saat } 0-30 \text{ ms} + E \text{ saat } 30-80 \text{ ms} + E \text{ saat } 80\text{ms}-0,6 \text{ s}$$

$$E_{\text{total}} = 0,76 + 1,13 + 7,96$$

$$E_{\text{total}} = 9,85 \text{ cal/cm}^2$$

❖ Switchgear new 150-NS02

$$\text{FCT } t_{\text{CB tie breaker kpi}} = 0,4 \text{ s ;}$$

$$\text{Ibf saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 15,47 \text{ kA}$$

$$\text{Ibf saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 13,86 \text{ kA}$$

$$\text{Ibf saat 80ms-0,4 s (4 cycle-FCT } t_{\text{cb } 62}) = 9,57 \text{ kA}$$

$$E \text{ saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 1,39 \times 15,51^{1,063} \times 0,03$$

$$E \text{ saat 0-30 ms (0-1,5 cycle)} = 0,76 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 1,39 \times 13,88^{1,063} \times 0,05$$

$$E \text{ saat 30-80 ms (1,5-4 cycle)} = 1,13 \text{ cal/cm}^2$$

$$E \text{ saat 80ms-0,4 s (4 cycle-FCT } t_{\text{cb tie breaker kpi}}) = 1,39 \times \text{Ibf}^{1,063} \times t$$

$$E \text{ saat 80ms-0,4 s (4 cycle-FCT } t_{\text{cb tie breaker kpi}}) = 1,39 \times 9,56^{1,063} \times 0,32$$

$$E \text{ saat 80ms-0,4 s (4 cycle-FCT } t_{\text{cb tie breaker kpi}}) = 4,902 \text{ cal/cm}^2$$

$$E_{\text{total}} = E \text{ saat 0-30 ms} + E \text{ saat 30-80 ms} + E \text{ saat 80ms-0,4 s}$$

$$E_{\text{total}} = 0,76 + 1,13 + 4,902$$

$$E_{\text{total}} = 6,79 \text{ cal/cm}^2$$

#### **4.6. Hasil Perbandingan Perhitungan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002 dengan Standart IEEE 1584-2002[2]**

Dengan dilakukannya hasil perhitungan dengan metode modifikasi dan simulasi insiden energi sesuai dengan standart IEEE 1584-2002 maka dapat dibandingkan penurunan energi insiden busur api dari hasil perhitungan insiden energi sesuai standart IEEE 1584-2002 dengan perhitungan metode modifikasi.

##### **4.6.1. Hasil Perbandingan Perhitungan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002 dengan Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Eksisting[2]**

Dari hasil perhitungan modifikasi pada sistem resetting dengan standart dari IEEE dapat dibandingkan nilai insiden busur api yang ditimbulkan sebelum penambahan trafo KDM berdaya 4 MVA yang akan mempengaruhi nilai insiden busur api yang terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.15 penurunan insiden energi dari perhitungan dengan metode modifikasi dengan standart dari IEEE 1584-2002 yang tidak memperhitungkan jumlah perubahan arus pada setiap siklusnya.

**Tabel 4.15** Hasil insiden energi standart IEEE dengan metode modifikasi standart IEEE pada sistem eksisting.

Bus Bar ID	E standart IEEE (cal/cm2)	Kategori saat standart IEEE	E modifikasi (cal/cm2)	Kategori saat modifikasi
150-NS01	6,61	2	3,45	1
150-NS(02)	6,61	2	3,45	1
NEW 150 NS-02	6,52	2	3,42	1

Dari tabel 4.15 dapat disimpulkan energi busur api yang ditimbulkan akan jauh lebih kecil nilainya jika dihitung berdasarkan arus gangguan fungsi waktu. Dan sebenarnya inilah insiden energi busur api yang akan ditimbulkan dikarenakan arus gangguan akan berubah nilainya sesuai dengan fungsi waktunya. Standart IEEE 1584-2002 hanya menggunakan arus gangguan terbesar dalam fungsi waktu maka akan menimbulkan nilai insiden energi yang besar pula. Dengan dilakukannya metode perhitungan ini dapat diketahui nilai insiden energi yang sebenarnya akan ditimbulkan dan dapat menurunkan kategori yang harus diperhatikan dalam menggunakan Personal Protective Equipment saat mendekati atau melakukan perawatan pada setiap peralatan.

#### **4.6.2. Hasil Perbandingan Perhitungan Metode Modifikasi Standart IEEE 1584-2002 dengan Standart IEEE 1584-2002 pada Sistem Resetting[2]**

Dari hasil perhitungan modifikasi pada sistem resetting dengan standart dari IEEE dapat dibandingkan nilai insiden busur api yang ditimbulkan setelah penambahan trafo KDM berdaya 4 MVA yang akan mempengaruhi nilai insiden busur api yang terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.16 penurunan insiden energi dari perhitungan dengan metode modifikasi dengan standart dari IEEE 1584-2002 yang tidak memperhitungkan jumlah perubahan arus pada setiap siklusnya.

**Tabel 4.16** Hasil insiden energi standart IEEE dengan metode modifikasi standart IEEE pada sistem resetting.

Bus Bar ID	E standart IEEE (cal/cm2)	Kategori saat standart IEEE	E modifikasi (cal/cm2)	Kategori saat modifikasi
150-NS01	20,60	3	12,85	3
150-NS(02)	15,45	3	9,82	3

**Lanjutan tabel 4.16** Hasil insiden energi standart IEEE dengan metode modifikasi pada sistem resetting

Bus Bar ID	E standart IEEE (cal/cm2)	Kategori saat standart IEEE	E modifikasi (cal/cm2)	Kategori saat modifikasi
NEW 150 NS-02	10,27	3	6,79	2

Dari tabel 4.16 dapat disimpulkan energi busur api yang ditimbulkan akan jauh lebih kecil nilainya jika dihitung berdasarkan arus gangguan fungsi waktu. Dan sebenarnya inilah insiden energi busur api yang akan ditimbulkan dikarenakan arus gangguan akan berubah nilainya sesuai dengan fungsi waktunya. Standart IEEE 1584-2002 hanya menggunakan arus gangguan terbesar dalam fungsi waktu maka akan menimbulkan nilai insiden energi yang besar pula. Dengan dilakukannya metode perhitungan ini dapat diketahui nilai insiden energi yang sebenarnya akan ditimbulkan dan dapat menurunkan kategori yang harus diperhatikan dalam menggunakan Personal Protective Equipment saat mendekati atau melakukan perawatan pada setiap peralatan.

#### 4.7. Perhitungan Flash Protection Boundary[1]

Pada insiden energi busur api terdapat jarak batas dimana seseorang tanpa memakai alat pelindung yang memadai yang dapat dihitung dengan standart yang telah ada di IEEE 1584-2002. Perhitungan tersebut dapat dilihat dibawah ini

❖ Switchgear 150-NS01

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times (t/0,2)(610^x/E_B))^{1/x}$$

$$D_B = (4,184 \times 1 \times 7,639 \times (0,8/0,2)(610^{0,973}/5))^{1/0,973}$$

$$D_B = 16944 \text{ mm}$$

$$D_B = 16,944 \text{ m}$$

❖ Switchgear 150-NS01(02)

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times (t/0,2)(610^x/E_B))^{1/x}$$

$$D_B = (4,184 \times 1 \times 7,639 \times (0,4/0,2)(610^{0,973}/5))^{1/0,973}$$

$$D_B = 8316 \text{ mm}$$

$$D_B = 8,316 \text{ m}$$

❖ Switchgear New 150-NS02

$$D_B = (4,184 \times C_f \times E_n \times (t/0,2)(610^x/E_B))^{1/x}$$

$$D_B = (4,184 \times 1 \times 7,614 \times (0,4/0,2)(610^{0,973}/5))^{1/0,973}$$

$$D_B = 8286 \text{ mm}$$

$$D_B = 8,286 \text{ m}$$

**Tabel 4.17** Hasil perhitungan dan simulasi Flash Boundary Protection.

Bus Bar ID	$D_B$ simulasi (m)	$D_B$ perhitungan (m)
150-NS01	16,983	16,944
150-NS(02)	8,330	8,316
NEW 150 NS-02	8,305	8,286

Tabel 4.17 merupakan perbandingan hasil simulasi dan perhitungan manual dari jarak yang harus diperhatikan tanpa menggunakan Personal Protective Equipment (PPE) saat mendekati peralatan yang bertegangan selama melakukan perawatan atau perbaikan peralatan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB 5 PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi besar insiden busur api dan koordinasi rele pengaman pada PT. Kaltim Methanol Industri yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Keadaan yang ada di PT. Kaltim Methanol Industri memiliki sistem koordinasi proteksi pada kondisi existing terdapat kesalahan koordinasi yang dapat mengganggu kontinuitas penyaluran daya.
2. Waktu rele memberikan sinyal trip kepada circuit breaker (CB) mempengaruhi besar nilai insiden arc flash yang akan ditimbulkan dikarenakan dala perhitungan nilai insiden busur api terdapat variabel waktu yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini

$$E = C_f x E_n x (t/0,2)^{(610/D)^x}$$

Semakin besar waktu maka akan seakin besar pula nilai insiden energi busur api yang akan ditimbulkan.

3. Secara keseluruhan *modified calculation method* pada standart IEEE 1584-2002 digunakan pada perhitungan besar energi busur api pada switchgear tegangan menengah 6,6 kV di PT. Kaltim Methanol Industri. Dengan memperhatikan waktu saat terjadinya gangguan hubung singkat (*time domain*) sehingga diperoleh hasil yang lebih rendah daripada perhitungan standart IEEE 1584-2002.
4. Dari hasil simulasi standart IEEE 1584-2002 dengan perhitungan modifikasi terdapat penurunan energi seperti tabel 5.1 dan tabel 5.2 dibawah ini pada sistem eksisting maupun sistem resetting

**Tabel 5.1** Hasil insiden energi standart IEEE dengan metode modifikasi standart IEEE pada sistem eksisting.

Bus Bar ID	E standart IEEE (cal/cm2)	Kategori saat standart IEEE	E modifikasi (cal/cm2)	Kategori saat modifikasi
150- NS01	6,61	2	3,45	1
150- NS(02)	6,61	2	3,45	1

**Tabel 5.1** Hasil insiden energi standart IEEE dengan metode modifikasi standart IEEE pada sistem eksisting.

Bus Bar ID	E standart IEEE (cal/cm2)	Kategori saat standart IEEE	E modifikasi (cal/cm2)	Kategori saat modifikasi
NEW 150 NS-02	6,52	2	3,42	1

**Tabel 5.2** Hasil insiden energi standart IEEE dengan metode modifikasi standart IEEE pada sistem resetting.

Bus Bar ID	E standart IEEE (cal/cm2)	Kategori saat standart IEEE	E modifikasi (cal/cm2)	Kategori saat modifikasi
150-NS01	20,60	3	12,85	3
150-NS(02)	15,45	3	9,82	3
NEW 150 NS-02	10,27	3	6,79	2

5. Pemilihan kategori alat perlindungan diri yang tepat dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi para pekerja sehingga dapat bekerja secara optimal. Selain itu juga untuk menghindari jatuhnya korban jiwa akibat ledakan busur api (*arc-blast*).

## 5.2. Saran

1. Pada *resetting* rele baru yang terdapat pada tugas akhir ini, dapat dijadikan pertimbangan dan referensi untuk melakukan *setting* yang sebenarnya.
2. Untuk memperkecil nilai insiden busur api yang ditimbulkan perlu diaplikasikan *differential bus* pada bus bar utama tegangan 6,6 kV di PT. Kaltim Methanol Industri.

**SIEMENS**

## List of Electrical Data

1651014

Code Word: KMI

Order No.: KF32E-Q-0000-804330

Works No.: 1651014

Order Date: 13.04.95

Manuf. No.: D9565101401

1 Unit Three-Phase Synchronous Generator with Laminated Cylindrical Rotor

Type: 1FJ1903-4HC98-Z

Mounting: IM1005

Enclosure: IP54

Standard: VDE/IEC

Cooling System: ICW37A81

Ex-Protection:

Rotation: cw

Thermal Class: F

Insul. System: Micalastic

Excitation: RG90/16 + Thyristor-Exc.

Service Altitude &lt;= 1000 m

Duty:

Required Inertia:

Driven by: Steam Turbine

Type: GK26/40-6 TUG

Shaft Power: kW

## Operating Data:

## Rated Point

Output	kVA	8750	
Voltage	V	6600	
Variation	% ±	5 / 5	
Current	A	765	
Power Factor		0.80	
Frequency	Hz	50	
Range	% ±	1 / 1	
Speed	min <sup>-1</sup>	1500	
Over-Speed	min <sup>-1</sup>	1800	
Exc. Voltage	MM <sub>(130°C)</sub>	115	
	V	75	
Exc. Current	MM	406	
	A	14.3	
	EM		
Cooling Temp. sec./prim.	°C	29 / 44	
Wdg. Limit Temp. Stator	°C <=	120	(R)
Wdg. Limit Temp. Rotor	°C <=	130	(R)
Duty Type		S1	
Servicefactor		1.1	for 1 hour within 6 hours

## Efficiency in %

Load	P.F. = 0.80
1.25	96.9
1.00	97.0
0.75	96.7
0.50	95.9
0.25	93.0

P.F. =

x Marked Losses are Included in the Efficiency  
 Stator Lamination V530-65A 5.3 W/kg at 1,5 T

## Losses in Rated Load

- x Bearing
- x Friction
- x Core
- x  $i^2 R_{pc}$  Stator 75 °C
- x  $i^2 R_{pc}$  Rotor 75 °C
- x  $i^2 R_{pc}$  Wdg. °C
- x Additional
- x Excitation
- Brushes
- Separated Fanpower

## Reactances in p.u. Ref. to ZR = 4.978 Ω

	unsaturated	saturated		unsaturated	saturated
XD	2.15	1.65	XQ		
XD'	0.18	0.14	XQ"		
XD"	0.12	0.10	XQ"/XD"		XP
XS1			X2		
X0					

## Comm. Reakt. / System XK

## Time Constants in s

	at 75 °C	
TD0'	4.15	TG 0.07
TD0"	0.03	
TD'	0.39	TQ0"
TD"	0.02	TQ'
T(3K)		T(2K)

## Magnetic Forces

## Pull-Out Torque (in p.u.)

## Unbalanced Load

## Excitation Currents in A

Regulation at Load Shedding  
 at COSφN 0.244  
 Reactive Power

## Short Circuit Ref. to Rated Values

(in p.u.)	
IK0/IN	0.60
IK/IN	1.60
1.8*IS/IN	25.4

## Remarks:

Sales Address: KWU FITE Goerlitz; Mr./Mrs. VOGT; Phone/Fax 682385/406428

\* Guaranteed Values without Tolerance

Date	Issued by	Dep.	Phone/Fax	Sheet: 2
21.04.95	Kottenhagen	E11	25231/23992	C95741

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Std. 1584-2002., “*IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculation*”, by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2002.
- [2] K. R. Shah, Life Senior Member, A. Cinsavich, P. De Silva, “*Impact of Arc Flash Hazards on Medium Voltage Switchgear*”, Member Shah & Associates, Inc. 416 North Frederick Avenue, Gaithersburg, MD 20877
- [3] NFPA 70E., “*Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces 2009 Edition*”, NFPA 70E-2009.
- [4] Pfeiffer, John C., “*Arc Flash Article*”, Pfeifferengineering Co., Inc., 2008. [5] Pfeiffer, John C., “*Arc Flash Article*”, Pfeiffer Engineering Co., Inc., 2008.
- [6] Robert Luo, PhD., David Castor, P.E., “*Practical Solution Guide to Arc Flazh Hazards*”, Published by ESA, Inc., 2003.
- [7] Vajko, Rob., “*The Basic Arc Flash Protection*”, © National Safety, Inc., 2008.
- [8] Wu, Alex Y., “*Modified Medium-Voltage Arc-Flash Incident Energy Calculation Method*”, IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 46, No. 5, September/October, 2010.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Reza Arfian Adi Pratama. Lahir di Suabaya pada tanggal 9 Oktober 1991. Anak pertama dan terakhir dari pasangan Didiek Hary Subagijo dan Sri Wigiarti ini mengawali pendidikannya di SDN Medokan Ayu II/615 Surabaya pada tahun 1997-2003, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 35 Surabaya hingga tahun 2006. Setelah lulus dari SMA Negeri 16 Surabaya pada tahun 2009, penulis melanjutkan pendidikan D3 di PENS-ITS Surabaya, Jurusan Teknik Elektro Industri, hingga tahun 2012. Lalu penulis melanjutkan pendidikan S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Sistem Tenaga. Lalu Semasa kuliah penulis aktif mengikuti berbagai seminar dan pelatihan. Penulis dapat dihubungi di alamat *email* [rezaarfian09@gmail.com](mailto:rezaarfian09@gmail.com).

*Halaman ini sengaja dikosongkan*